

长安大学
硕士学位论文
东天山西段隐伏金矿体定位预测的构造及地球化学方法研究
姓名：李强
申请学位级别：硕士
专业：构造地质学
指导教师：杨兴科
20030519

摘 要

石英滩金矿床位于塔里木板块北缘晚古生带火山岛弧带,处于小热泉子-大南湖 Cu、Ni、Au、Sn 成矿带中西段,区域成矿地质条件优越。矿区位于古火山机构的北缘,出露地层为陆相火山岩-火山碎屑岩建造特征的下石炭统阿奇山组,火山机构边缘环状、放射状断裂发育。区域上矿床处于重力梯度转向及其梯度值突变部位,有 Au、Ag、As、Sb、Hg 等元素的地球化学高背景区。

矿床赋矿围岩为阿奇山组第三岩性段钙碱系列的中酸性火山岩-火山碎屑岩,主要岩性为安山岩、英安岩、火山角砾熔岩、火山角砾岩等。矿体多呈脉状、囊状、似板状、不规则状,总体呈扇形分布,产状 $18-45^{\circ} \angle 32-70^{\circ}$ 。

围岩蚀变主要有青盘岩化、硅化、碳酸岩化、绿泥石化、泥化、黄铁绢英岩化等。蚀变在空间上既有分带性又有相互叠加的特点,其分带从矿脉中心向外依次为硅化内核—泥化带—黄铁绢英岩化带—青盘岩化带。

矿石为典型少硫化物型,金属矿物含量极少(1%-2%),主要有黄铁矿、黄铜矿、褐铁矿和自然金、银金矿等。主要脉石矿物有玉髓、微粒石英以及方解石、绢云母、冰长石、文石、绿泥石、浊沸石、叶腊石、高岭石等,属典型低温矿物组合。成矿物质主要来自矿区火山岩围岩,次火山岩提供了主要热源和部分矿源,成矿流体来自大气降水,矿床成因类型为低硫化物冰长石—绢云母型浅成低温热液型金矿。

科学的成矿预测实质是在正确的成矿分析基础上的合理推断。通过对石英滩金矿床控矿、导矿、容矿构造的系统分析,确定了该矿床形成最有利的构造背景—火山机构边缘环状、放射状断裂。而对该矿床隐伏矿体 L_4 不同标高的岩石地球化学采样分析,确定了石英滩金矿的原生晕轴向分带、横向分带、纵向分带以及其原生晕组合特征的一般性规律。进而建立了该矿床的原生晕叠加模型。为在研究区内寻找和勘察隐伏矿体提供了可靠的地球化学依据。

应用构造-原生晕地球化学这一深部找矿预测方法比较科学和系统地总结归纳了石英滩金矿床所表现的地质和地球化学信息,具有丰富当前找矿模式的理论意义,也具有为东天山地区金矿找矿工作提供理论指导的实际意义。

关键词: 金矿床 隐伏矿体 构造 地球化学 定位预测

ABSTRACT

Shiyingtan gold deposit is situated in the volcanic island arc zone of northern margin of Tarimu plate in the late Paleozoic, and is located the west section of Xiaorequanzi-Dananhu the zone ore forming of Cu, Ni, Au, Sn. The condition of geological mineralization in the area is outstanding. The gold lies the northern of paleovolcanic institution. The main stratum of the mine is Aqishan formation of lower-Carboniferous series. The annular faults and radial faults of the volcanic mechanism are very development. The deposit is regional located in the place of the sudden changing of gravity-gradient zone in the direction and intensity. The area also shows high geochemical background of Au, Ag, As, Sb and Hg elements.

The wall rock of the mine is the third member of Aqishan formation, which it is formed by the neutral-acidic volcanic rock and volcanic arenite of calcium-alkala series. The rock is mainly of andesite, quartz andesite, volcanic breccia agglomerate and volcanic breccia. The ore vein are mainly of stock work, sack-like work, lath-shaped and irregular-shaped. The ore body totally shows the characteristics of fan-shaped, which mode of occurrence is 18° - 25° 32° - 70° .

The alteration of wall rock is mainly of propylitization, silicification, carbonatization, argillization and beresitization. The characteristics of alteration show the zoning and overlapping on the space. From the inner to outside of the ore vein zoning is: silicification inner core-argillization-beresitization-propylitization.

The typical characteristic of the ore is low sulfide. The metallic mineral has very few content (1%-2%), The mineral of ore is mainly of pyrite, chalcopyrite, limonite, aurum and electrum etc. The gangue mineral is composed of chalcedony, micro grained quartz, calsite, sericite, adularia, aragonite, chlorite, laumontite, pyrophyuite, kaolinite and so on, which show the typical mineral assemblage of epithermal. The ore-forming material is mostly from volcanic rock, and sub volcanic rock provides the main thermal and some mineral materials. The ore-forming fluid is from meteoric water. As a result, it should be a kind of adularia-sericite type of epithermal gold deposit.

Scientific metallogenic prognosis means reasonable inference based on correct analysis of metallogenesis. Basing on systemally analysising controlling-deposit and holding-deposit of Shiyingtan gold ore-bodies. Ascertaining the most favorable structure background - radical and annular fault lie in the edge of volcanic mechanism. Moreover, according collecting and analysising geochemical samples at different vertical depths of L₄ ore body. Establishing primary haloes's axial direction, vertical direction and horizontal direction, concluding the normally regulate of combined characteristic and zonal characteristic in Shiyingtan gold deposit. Finally

vertical direction and horizontal direction, concluding the normally regulate of combined characteristic and zonal characteristic in Shiyingtang gold deposit. Finally establishing the model of primary superimposed halo. Moreover, getting an important agrochemicals information to looking for and exploring hidden ore body in this region.

Application the structure- primary haloes's geochemical synthetic prospecting methods scientifically and systematically summarizes the geology and geochemistry prospecting information that has been shown from the characteristic of Shiyingtang gold deposit, which has the theoretical significance that enrich the present prospecting model, as well as the practical significance that provides the scientific theoretical guide for prospecting gold in eastern Tianshan areas.

Keywords: The gold deposit, Hidden orebody, Structure, Geochemistry, Location prediction

第一章 概 述

第一节 前 言

当前,随着社会主义建设对矿产资源的需求日益增加,地表矿、浅部矿、易识别矿逐渐被地质工作者发现,找矿难度日益增加。找矿的主体对象已转向隐伏矿、深部矿、难识别矿。这些都需要人们对矿床的成矿机理及其成矿环境、控矿条件、矿化信息和矿化时空演化等问题进行系统研究,运用先进的思维方式,选择适当的方法和途径进行分析,在正确的成矿分析基础上进行合理推断,以求得科学的成矿预测结果。隐伏矿体定位预测理论与方法研究已成为矿床学和成矿预测学领域的前沿和热点问题^[1]。

一 隐伏金矿体定位预测的研究现状

目前隐伏矿体定位预测的理论与方法问题已引起国内外勘查界极大的关注与重视。1993年,美国国家研究委员会提出的《固体地球科学与社会》关于优先研究主题中明确提出“正确描述和模拟成矿过程,并提高预测可能位置的能力,应是21世纪地学发展的主要方向之一”^[2]。许多国外学者都认为:今后矿产预测的精度需进一步提高,矿产勘查的成功率将取决于成矿理论和预测方法的创新与发展,并由此针对性地提出了不断更新找矿思路、技术和方法,提高综合研究能力的发展方向^[3-5]。在技术上倡导侧重于发展GIS、GPS和RS的3S技术,以大力提高宏观找矿靶区定位预测的准确性和可靠性;在研究思路上倡导将矿床模式的研究从纯矿床学理论上的描述模式、成因模式向勘查模式推进,以寻找理论研究 with 勘查实践的“最佳接口”,增强对预测找矿的具体指导功能。

国内近十年来,在成矿理论和预测理论研究方面亦取得了长足的进展。已形成了成矿系统理论、“三源”成矿理论、科学找矿理论、地质异常理论和综合信息预测理论等较成熟的预测理论体系。特别在近年来,现代构造解析法、成矿动力学法、分形统计学方法、结构分析方法以及灰色关系分析、人工神经网络分析及模式识别技术等方法和技术被广泛应用于矿床预测中,且取得了初步的进展。但从总体上看,我国隐伏金矿体定位预测研究的理论进展超前于方法进展。这是由于缺乏与预测理论相匹配的科学预测方法,致使理论与找矿实践彼此脱节较严重,多数的研究理论尚不能有效应用于找矿实践中,成果转化率低,成效不明显。

二 隐伏金矿定位预测的技术和方法简述

隐伏矿定位预测是一项复杂的系统工程^[6], 需要一套完整且又实际的技术方法, 包括地质、地球物理、地球化学、3S 等, 它们的完整组合构成了隐伏矿定位预测的科学研究技术体系。当前, 隐伏金矿定位预测的技术方法主要有构造地质方法、地球物理方法和地球化学方法。

1 构造地质方法

构造是金矿床形成中最重要因素之一^[7], 在有成矿物质和含矿流体的前提下, 它是成矿的关键。因此成为隐伏矿定位预测的重要依据和一种重要的预测方法。与隐伏金矿有关的构造主要有:

(1) 韧性剪切带内脆-韧性变形转化带 脆-韧性变形转换 (brittle-ductile deformation transition) 是指岩石从整体脆性变形到完全晶体塑性变形之间的转换 (Scholz, 1988), 表现为塑性流变和脆性流变间的混合过渡态 (Paterson, 1976)。脆-韧性变形带具有特征变形组构^[8], 带内存在着广泛的脆-韧性剪切变形、组分带入带出、体积变化、流体作用、动力成矿等作用。是中深部壳幔物质在区域构造动力学控制下发生区域成矿系统演变、物质交换、成矿热流体生成、动力分异、交代蚀变或有序充填沉淀成矿或叠加改造成矿的有利场所^[9]。

(2) 矿体侧伏构造 多数金属矿体产状在三维空间上是规律变化的, 矿体的侧伏受成矿前和成矿期的构造控制^[10]。侧伏构造一般由两组交叉构造形成。由于区域应力场的变化引起不同阶段, 不同方向的两组构造叠加, 在其交汇部位形成矿脉, 或者在同一时期、同一应力场中形成的共轭断裂而形成侧伏构造。侧伏构造控制了矿体的侧伏方向, 形成侧伏构造的应力场的大小决定了矿体的规模。通过对侧伏构造的研究, 有助于认清隐伏矿体的规模, 矿体埋藏部分的空间延伸方向, 为勘探工作提供可靠的地质数据和资料。

(3) 火山机构构造 与隐伏金矿预测有关的火山机构及其配套构造主要有隐爆角砾岩筒、次火山岩体、环状、放射状断裂构造。其中隐爆角砾岩筒是火山机构最主要的构造。次火山岩体的有利成矿部位是同围岩接触带、顶部及边缘环状或放射状裂隙^[11]。

2 地球物理技术方法

地球物理技术在隐伏金矿定位预测中是一种有效的辅助手段, 目前应用较多且较成熟的技术方法有浅层地震技术^[12]、CSAMT 与 TEM 技术、伽玛能谱测量法及综合航空物探法^[13]。

(1) 浅层地震技术 是采用高分辨率的地震勘探进行野外资料采集, 并用相应手段进行处理, 从而对地下构造做出精细的地质评价。其主要优点是高信噪比、宽频带、勘测深度从近地表到 3000 米左右。经图像处理可得到地下较为精细的二维结构构造。

(2) CSAMT 与 TEM 技术 CSAMT (可控源音频大地电磁法) 和 TEM (地面时间域电磁法) 属于两种地面电磁法, 具有穿透能力强、勘探深度大、分辨率高的特点。它们对

于寻找和圈定金矿化的蚀变带或富集带效果显著。

(3) 伽玛能谱测量法 是一种简便、快速、有效的寻找隐伏金矿床的方法^[14]。通过总结不同类型金矿床所具有的不同伽玛能谱特征,为进一步的地质研究提供可靠的依据。

3 地球化学方法

该法一直是地质工作者普遍采用的一种勘查隐伏金矿体的方法。近年来发展非常迅速,既有常规的地化方法,如指示元素分带序列法(PEZ法)、地电化学勘查方法(CHIM法)等,还包括一些非常规方法,如铀地球化学异常法、X-射线荧光光谱测量法、屏障过渡激发极化法、植物地球化学法等。实践证明,应用地球化学方法寻找隐伏矿体具有准确、快速、高效、直观、价廉等特点。

(1) 指示元素分带序列法 元素分带的概念是艾孟斯首先提出的。目前对热液型脉状金矿指示元素的理想分带序列是: Hg-Sb-F (B、I)-As、Pb-Zn, Ag-Au, Cu-Mo, Co, Ni。根据格里戈良对原苏联 48 个热液型金矿床的统计,各元素原生晕的浓集中心轴状分带序列为: Ba-(As、Sb、Hg)-Cd-Ag-Pb-Zn-Au-Bi-Co-Mo-U-Sn-Be-W^[15](从上向下)。由上述分带序列可知: As、Sb、Ag (Hg、Bi) 是金矿床的矿上元素,它们的异常主要发育于前缘或上部矿体, Mo、Sn、W、Co 为矿下元素,它们的异常发育于尾晕或矿体下部。而 Pb、Zn、Cu 等金属元素情况较复杂,对高温热液矿床,属矿上元素,对低温矿床属矿下元素。指示元素分带序列的建立对于研究隐伏金矿体存在的可能性、矿体的规模、矿体的埋藏深度以及矿体的剥蚀深度都具有很大的指导意义。

(2) 地电化学勘查方法 大量的找矿勘探实践证明,地电化学勘查方法可以发现 500 米以下的有色金属、贵金属、稀有金属、放射性元素矿床和 1400 米以下的石油天然气矿床^[16]。该方法包括激发极化法、部分提取法、扩散提取法、吸附提取法、气体地电化学离子测量法、土壤离子电导率测量法、接触极化曲线法等。采用地电化学勘探法的主要优点是能够获得矿体矿物的组成、含量、结构构造以及矿体大小和矿体储量等信息,大大提高勘探效率,缩短勘探周期,降低勘探成本。适合于地球化学异常区和矿化点的详查与评价。

(3) 铀地球化学异常法 铀与金都是亲硫元素,二者在氧化状态、离子半径、化学稳定性方面十分相似,近年来的研究发现,许多大型、超大型金矿和一些多金属矿都有铀的异常显示^[17],因此,成为找金的重要指示元素。铀元素的指示作用不仅表现为与金异常一起可以确定找金及其它贵金属的有利标志,而且通过研究铀及其它元素分带的分布特征,确定矿体剥蚀深度及矿体赋存的空间位置^[18]。

三 隐伏金矿定位预测的发展趋势

今后,隐伏金矿定位预测的发展主要显示出以下几方面的趋向。一是:研究矿体空间就位机理、定位规律及其厘定与表征方法。对热液成矿系统,重点研究其演化、协同与变化规律。二是:采用多源预测信息的方法,结合传统地、物、化、遥的手段,注重

第三节 研究区以往地质研究程度

本区自 1986 年以来地质工作着重于基础地质、小比例尺地质、物化探测量以及铁矿普查等。1986—1987 年国家 305 项目由河北物化探大队完成 1:20 万秋格明塔什幅物化探测量说明书及附图,为石英滩金矿床的发现提供了主要的地球化学资料;1989—1990 年国家 305 项目由西安地质学院和新疆地质一大队承担完成的“康古尔塔格金成矿带地物化综合研究及找矿靶区优选”研究报告及图件,成为该矿床发现和首次较全面的研究报道。并在 1991—1995 年的 305 专题继续研究的基础上,于 1994 和 1996 年公开出版了两本研究专著。1991—1994 年新疆地矿局第一地质大队提交了该矿产的第一份普查报告。1991 年以后,涉及本区的各项地质工作不断增多,研究程度进一步提高。涉及本区以往主要地质工作程度和地质科研工作参见表 1—1。

表 1—1 以往地质工作程度和科研工作情况一览表

序号	报告名称及工作项目	性质及比例尺	起止时间	提交单位	备注
1	秋格明塔什幅区域地质报告	区调 1:20 万	1959	新疆地矿局第二区调大队	未正式出版
2	天山东部及北山铁多金属成矿带成矿远景区划报告	1:50 万	1981—1983	新疆地矿局 甘肃地矿局	
3	康古尔塔格金成矿带地物化综合研究及找矿靶区优选研究报告	科研 1:20 万	1989—1990	西安地质学院 新疆地矿局第一地质大队	该矿床首次发现,出版专著
4	新疆维吾尔自治区鄯善县石英滩金矿床普查报告	普查	1991—1994	新疆地矿局第一地质大队	
5	康古尔塔格金成矿带控矿规律及靶区优选评价研究	科研	1991—1995	西安地质学院等	305 项目
6	石英滩金矿床矿石物质组分和元素赋存状态研究报告	科研	1993—1994	新疆地矿局中心实验室	
7	东天山成矿区成矿地质条件及矿产资源综合评价研究	科研	1992—1995	西安地质学院 成都地质学院等	
8	觉罗塔格金铜铁成矿带成矿系列分布规律与矿床定位预测	综合研究	1996—2000	长安大学、地科院矿床研究所、成都理工大学等	国家科技攻关项目
9	东天山地区火山—岩浆作用研究	综合研究	1999—2001	西安工程学院、西安地质矿产研究所	中国地调局大调查项目
10	新疆鄯善县石英滩金矿床 L4、L5 号金矿体及外围找矿 2000 年普查设计	普查	2000—2001	新疆地矿局第一地质大队	自治区资源补偿项目

通过分析以往研究成果不难发现,本区在近十余年中已开展了较系统的地质、物探、

遥感及矿产勘察等工作,并且相继发现并评价了一批大中型金、铜、铁等矿床和矿点。但是最近几年中,找矿进展较慢。一方面的原因是由于随研究程度的提高,地表、浅层的矿点或地段已被完全或基本完全发现,而对于矿床深部找矿进展不明显以及对矿化信息微弱的地段的研究手段、研究方法缺乏有效性,同时也欠深入。另一方面也反映出对已知矿床及矿区的基础地质研究程度不够,造成一些与矿床和矿山地质工作直接相关的重要地质问题,至今未能很好解决。这些都直接影响到矿山开采和持续性发展。

第四节 本论文的研究方向、思路及实际工作情况

本论文的研究方向就是针对以往研究工作中存在的问题和缺陷而设定的。目的是填补以往研究工作中的这一项空白。研究工作的重点是典型矿床(石英滩金矿床)构造控矿与矿床地球化学的特点。通过对东天山西段典型金矿—石英滩金矿的地质、构造及地球化学等方面的研究,建立该矿床的地球化学原生晕叠加模型。为在该区进一步寻找勘察隐伏金矿床提供可靠的地质依据。

本论文的研究思路是以金矿成矿模式理论为指导,以构造分析和地球化学原生晕分析为手段,最终以提高找矿效果为目的。利用金矿成矿具有多期多阶段叠加成矿成晕的观点,抓住研究金矿成矿单阶段的地球化学特征、轴向分带规律和不同阶段在空间上的叠加结构等关键问题,查明构造对成矿作用以及其后生破坏作用,达到准确圈定或预测找矿靶区。

本论文采用的理论研究方法是相似类比理论,该理论是由赵鹏大提出的。其核心思想是:在一定的地质条件下产出一定类型的矿床,相似地质条件下应赋存有相似的矿床。即在相似地质环境中应该有相似的成矿系列或矿床产出^[20]。论文以石英滩隐伏矿床 L₄矿体为研究对象,通过对该矿体的控矿构造分析,不同中段矿体的矿化特征以及矿体轴向、横向和纵向的原生晕地球化学变化特点和分带规律、分带模式的确定,建立东天山西段浅成热液型金矿的地球化学分带模式,进而与研究区外围区段金异常区(点)的地球化学特征进行对比,从而确定最有利的成矿远景区。

为完成本论文,野外工作共分为三个阶段,历时6个多月。第一阶段为资料收集阶段,主要目的是熟悉研究区地质环境,收集相关地质资料,采集地球化学样品,野外构造现象观察描述,及矿区1:2000地质图修测等。时间从2001年7月至8月。第二阶段为地质研究阶段,主要对矿区构造进行了重点研究、分析、采样和作图。野外实测地质剖面4条,实测面积10km²并且对研究区进行了岩石地球化学的系统采样,累计采集各类地质构造、地球化学分析样品700余件。此阶段从2001年8月至9月。第三阶段为补充工作阶段,对前面阶段工作中存在的遗漏和问题进行了弥补,主要是对重要地质现象描述,对预测区进行了探槽和钻孔编录,地质图草测,以及地球化学采样。

室内工作主要为各类地质图件的清绘、计算机绘图以及地球化学样品分析数据的计算机处理、分类统计计算等。

第二章 区域地质特征

第一节 区域地质概况

石英滩金矿位于塔里木板块北缘活动带晚古生代觉罗塔格岛弧带之阿齐山岛弧。分布地层有古生界石炭系、二叠系以及新生界第四系。地层区归属为觉罗塔格地层分区、阿齐山-雅满苏地层小区^[21]。(图 2-1)

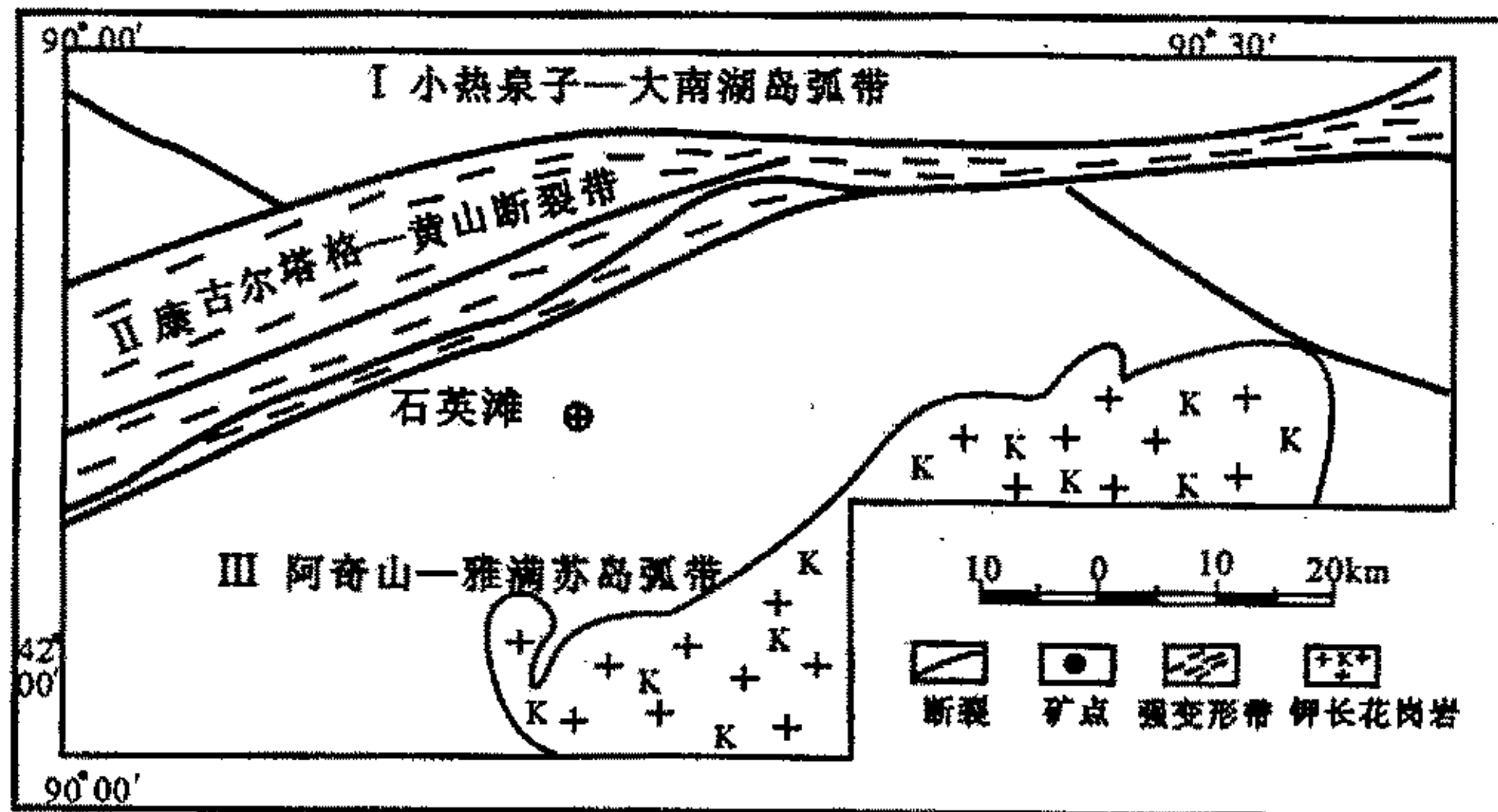


图 2-1 康古尔塔格地区构造分区图

(据长安大学东天山地区火山-岩浆作用(2002)研究资料整理)

一 地层

区内出露地层的主体为一套厚度较大的海相、陆相火山喷发沉积建造。主要有石炭系阿齐山组、雅满苏组、干墩岩组、苦水岩组，小热泉子组及二叠系阿其克布拉克组。

(图 2-2) 简述如下：

(一) 古生界

1. 下石炭统阿齐山组 (C_1a)

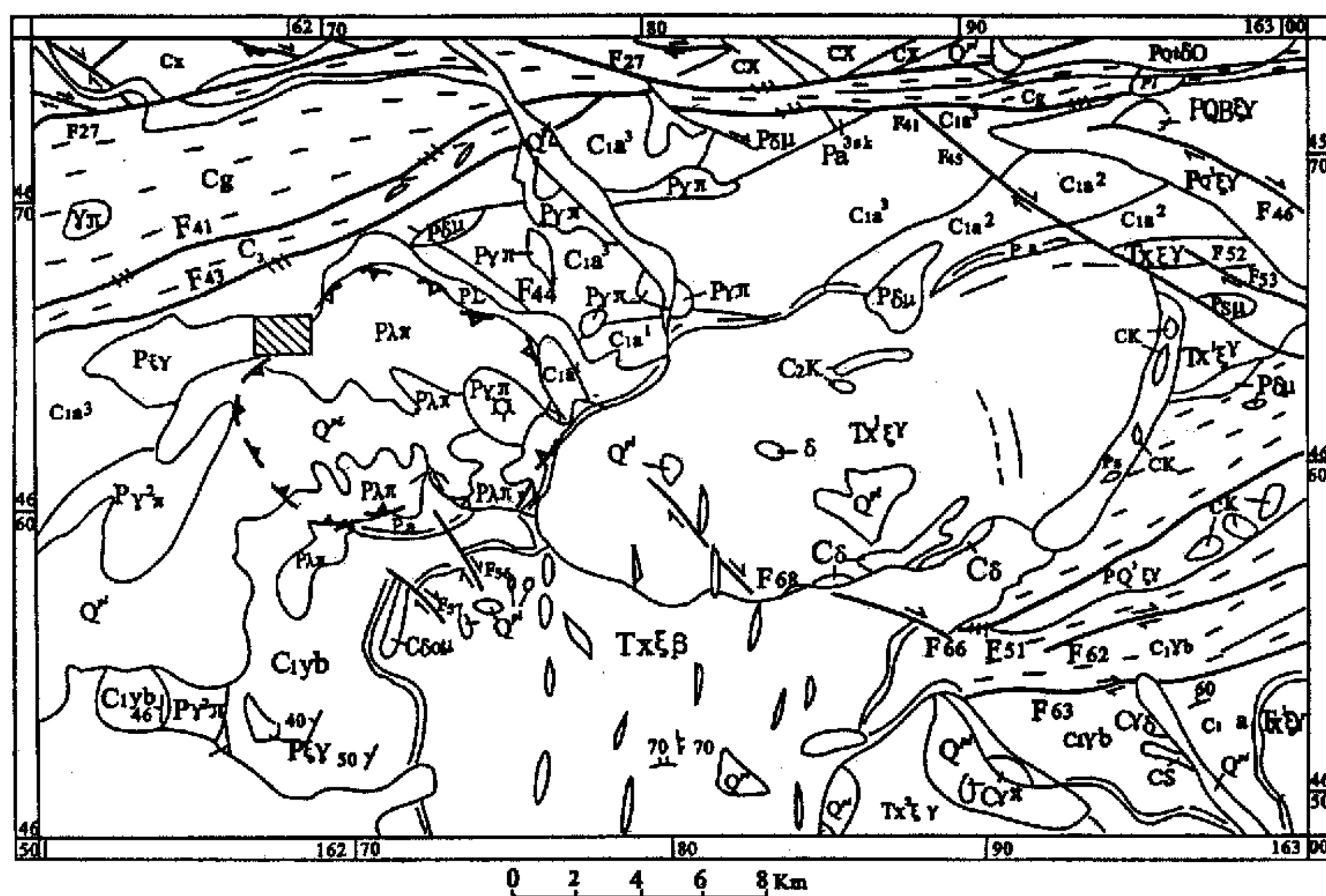
主要为钙碱性—碱性系列的中酸性熔岩、碎屑岩。区内划分为三个岩性段，由南向北依次为 C_1a^1 、 C_1a^2 、 C_1a^3 。

(1) 第一岩性段 (C_1a^1)

主要为河流相产物，夹火山岩。岩性为长石岩屑砂岩、砂砾岩及安山岩、玄武岩，厚 556.06m。

(2) 第二岩性段 (C_1a^2)

以中酸性熔岩为主, 并见火山碎屑岩。岩性主要有: 灰、深灰色安山岩、英安岩、安山质自碎角砾熔岩、流纹质角砾凝灰岩、不等粒砂岩、粗安岩等。厚 187.40m。



Q'	1	C_{1y}^2	2	C_{1y}^3	3	C_{1y}^4	4	C_{2k}	5	C_g	6	C_x	7
C_{1a}^1	8	C_{1a}^2	9	C_{1a}^3	10	Pa^{3sk}	11	PQ^{260}	12	PQ^{2ny}	13	PQ^{3xy}	14
Tx^2xy	15	Tx^3xy	16	$\lambda\pi$	17	$\gamma\pi$	18	$\delta\mu$	19	$\delta\omicron\mu$	20	δ	21
L	22	ξY	23		24		25		26		27		28
	29		30		31		32		33		34		

1. 全新世地层 2.3.4. 雅满苏组第一、二、三岩性段 5. 苦水组 6. 干墩组 7. 小热泉子组 8.9.10 阿齐山组第一、二、三岩性段 11. 阿其克布拉克组第三岩性段砂卡岩 12. 恰特卡尔超单元 13. 14. 秋格明塔什超单元第二、三单元 15.16. 威水沟超单元第二、三单元 17. 碎斑流纹斑岩 18. 碎斑花岗岩 19. 闪长玢岩 20. 石英闪长玢岩 21. 闪长岩 22. 碎斑熔岩 23. 钾长花岗岩 24. 初脆性复合大断裂 25. 强韧性剪切带 26. 走滑断裂 27. 不整合界限 28. 角化岩 29. 推测火山喷发中心 30. 火山口及火山通道 31. 地层产状 32. 倾斜裂隙 33. 酸性脉岩 34. 石英滩金矿床

图 2-2 石英滩金矿区域地质图

(据新疆第一地质大队资料, 1994)

(3) 第三岩性段 (C_{1a}^3)

为一套中酸性熔岩。岩性有: 灰色英安岩、紫褐色安山岩、角砾熔岩、英安质自碎角砾岩。总厚大于 1028.30m。

2. 石炭统雅满苏组 (C_{1y})

本区主要出露该组第二、四岩性段。产于石英滩火山盆地 F_{61} 、 F_{62} 以南，面积为 18km^2 。

为一套半深海相复理石杂砂岩和碳酸盐建造，主要岩性有岩屑砂岩、大理岩、灰岩、凝灰岩。含珊瑚化石。出露总厚度 1468.18m 。

3. 下石炭统小热泉子组 (C_{1x})

面积约 15km^2 。为岛弧相钙-碱性系列中酸性火山岩、火山碎屑岩建造。岩性为岩屑砂岩、含砾砂岩、沉凝灰岩等。总厚度 524.02m 。

4. 石炭系干墩岩组 (Gd)

面积 120km^2 。为半深海-深海相复理石杂砂岩建造。主要岩性为糜棱岩化岩屑砂岩、长石砂岩、千糜岩等。总厚度为 3385.00m 。

5. 石炭系苦水岩组 (Ks)

分布于 F_{61} 、 F_{62} 的北侧，面积约 40km^2 。为半深海-深海相复理石杂砂岩建造，岩石均已糜棱岩化。岩性主要有糜棱岩化岩屑砂岩、糜棱岩化杂砂岩等。总厚度为 4547.00m 。

(二) 新生界

出露的新生界主要有全新统洪积层 (Q^p)、洪积风积层 Q^{p+ed} 。

Q^p : 分布于冲沟中，由洪积砂、砾石组成，局部为亚砂土。

Q^{p+ed} : 分布于低洼地中，除具洪积层特点外，还有不均匀分布的灰白色风成砂及洼地坡上的流动沙丘。

二 火成岩及脉岩

(一) 火山岩

区内火山岩较发育，分布面积约 280km^2 。火山活动时代为石炭和二叠纪。

石炭纪火山岩的岩石类型有拉斑玄武岩、钙碱性系列的安山岩，中酸性凝灰岩，沉凝灰岩。生成环境为火山岛弧及陆缘深海、滨海。根据其岩石化学岩石组合等特征划分为五个不同的喷发旋回—小热泉子、恰特卡尔、雅满苏、梧桐窝子、干墩，各旋回又进一步细分成若干韵律。

二叠纪火山岩分布广泛，岩石类型主要有玄武岩、安山岩、凝灰岩、英安岩、角砾熔岩、碎斑熔岩、碎斑流纹岩、碎斑花岗斑岩等。分为爆发相、喷溢相、侵出相。火山喷发依次为：早期以基性喷溢相为主，中期以喷溢相兼有爆发特征，晚期则以强烈的爆发和次火山岩侵出为特征。

(二) 侵入岩

区内侵入岩较发育，以酸性岩为主，中基性岩次之。岩石类型主要有：碱长花岗岩 ($TX^2 \in Y$)—属咸水沟超单元第二单元，分布于图区南部，面积 50km^2 ，为条带状，产状 $180^\circ \angle 80^\circ$ 。正长花岗岩、角闪黑云母正长花岗岩 ($TX^1 \in Y$)—属咸水沟超单元第一单元，分布于图区中部，与 $TX^2 \in Y$ 为脉动接触。分布面积为 150km^2 ，形态为椭圆状，沿 $50^\circ \sim 60^\circ$ 方向展布，倾向北西，倾角 $70^\circ \sim 80^\circ$ 。斑状正长花岗岩、中粒正长花岗岩 ($PQ^3 \in Y$)—属秋格明塔什超单元第三单元，分布于东部及东北部，与

TX¹ & γ 为超动接触, 侵入时代为二叠纪, 由三个岩体组成。

(三) 脉岩

本区脉岩较发育。主要有闪长玢岩、石英闪长玢岩、正长花岗斑岩、斜长花岗斑岩、石英脉等。按其岩性特征分为中性脉岩、酸性脉岩及石英脉。

中性脉岩的岩石类型有闪长玢岩及石英闪长玢岩, 脉岩群体走向为北东东向。岩石具蚀变现象。酸性脉岩的岩石类型有正长花岗岩、斜长花岗岩、钠长斑岩等。石英脉广泛分布于各组地层中, 走向以北东东向为主, 按其特征和生成顺序可划分为两期: 早期石英为蠕虫状, 经韧性剪切作用呈拉长状, 一般不含矿。晚期石英脉规模较大, 与早期石英脉伴生, 走向以北东东向为主, 多沿脆性断裂和裂隙产出, 具有金矿化显示, 部分石英脉本身就是金矿脉。

三 构造

矿区位于阿齐山岛弧之石英滩—黑山石炭—二叠系拉伸盆地, 夹于康古尔塔格韧性剪切带的西延部分。在本区可划分为三个构造单元, 即北部韧性剪切带, 中部拉伸盆地, 南部脆韧性剪切带。区内构造主要为断裂构造。

1. 北东东向断裂: 为区域性大断裂, 主要为康古尔塔格深大断裂和雅满苏断裂。康古尔塔格深大断裂(F_{27})是本区主要的断裂系统, 与金矿关系较为密切。绵延上千公里, 走向 $70^{\circ} \sim 90^{\circ}$, 主体北倾, 倾角 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$, 断裂带宽 $50 \sim 100\text{m}$ 。断裂两侧变形特征截然不同, 以北为脆性、以南为韧性。其活动期较长, 早期以韧性剪切变形为主, 晚期则为脆性变形。雅满苏断裂(F_{61})在本区仅为该断裂西延段的一小部分。呈北东东向舒缓波状展布, 北倾, 倾角 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$, 断裂带宽 $50 \sim 100\text{m}$, 属韧性逆冲断裂。

2. 北东向断裂(F_{41} 、 F_{42}): 为 F_{27} 的分支断裂, 由两条断裂组成的一个断裂带。走向为 $30^{\circ} \sim 210^{\circ}$, 倾向南东, 倾角 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$, 是二叠系与石炭系的分界断裂, 早期由北向南俯冲, 晚期具右行走滑剪切性质。

3. 北西向断裂: 以 F_{45} 、 F_{46} 断裂最具特征, 分布在图区东部, 走向 $20^{\circ} \sim 300^{\circ}$, 倾向北东, 倾角 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$, 斜切苦水岩组、阿齐山组及秋格明塔什超单元, 形成于华力西晚期, 具平移性质。

第二节 区域地球化学特征

本区总体显示为复杂的多元素异常特征, 其中 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Hg、及 W、Sn、Mo 与大部分放射性、稀有、稀土等多种元素异常分布较为广泛。局部重叠复合成多元素复杂组合异常块段。

本区石炭纪地层分布最为广泛, 且 Au、Ag 等平均丰度值较高, 是金的主要矿源层。其 Th、W、Pb、Ni 等元素丰度值高, Cu、Mo、Ni 元素贫化; Au、Cu 元素变异系数小。

第三章 矿床地质特征

第一节 矿床地质与矿体特征

石英滩金矿床产于一火山构造盆地中部，位于古火山机构西北部的安山-英安质熔岩及火山碎屑岩中。金矿床主要有两个地表矿体 L_1 、 L_3 矿脉和两个隐伏矿 L_4 、 L_5 组成。矿体平面形态为脉状、筒状、囊状、透镜状（图 3-1）。

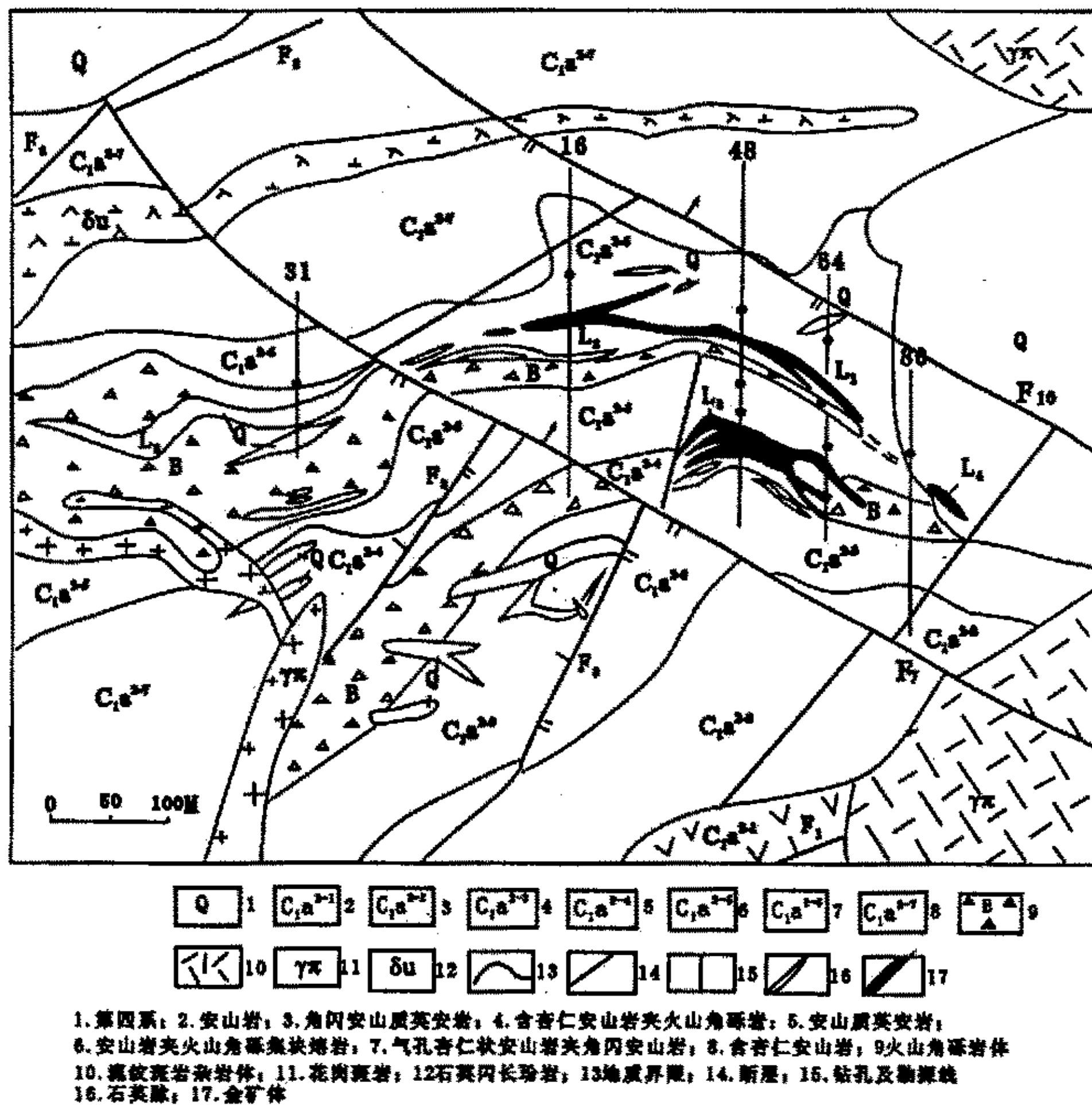


图 3-1 石英滩金矿平面地质略图

1. L_1 矿体

分布于矿区北部，呈脉状，上盘为灰绿色杏仁状安山岩，下盘为杏仁状安山岩和安山质角砾岩。总体走向 $73^\circ \sim 108^\circ$ ，倾向北，倾角 $32^\circ \sim 59^\circ$ ，地表倾向较陡，向深部变缓。矿脉长 340m。厚 0.81~8.29m，平均厚度 4.28m，厚度变化系数为 75%。矿脉向东侧伏，矿石品位 1~28.05g/t，平均品位 12.5g/t，最高达 78.83g/t，品位变化系

数为 135%，属厚度较稳定，矿化不均匀的矿体，其品位变化与厚度变化呈正相关。

2. L_2 矿体

分布于矿区南部，呈不规则囊状。赋存于安山岩中。总体走向 $112^{\circ} \sim 290^{\circ}$ ，中部向北凸出，倾向北，倾角 $55^{\circ} \sim 70^{\circ}$ ，深部有向东侧伏的趋势。矿脉长 220m，厚 0.90~24.45m，平均厚度 12.0m，矿体中部厚度大，向两端分枝变薄。矿石品位 1.36~34.21g/t，平均品位 15.6g/t，最高达 110.82g/t，属厚度相对稳定，矿化不均匀矿体。

3. L_4 矿体

为一隐伏矿，赋存于灰绿色杏仁状安山岩夹火山角砾或火山集块角砾岩中。形态较规则，呈脉状、透镜状。矿脉沿走向和倾向均为舒缓波状，膨胀狭缩现象明显。总体走向 135° ，倾向北东，倾角 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$ ，向深部延长、延伸均较大。走向最大延长 170m，最大延伸 250m，具有明显的向东侧伏特点。受后期构造的破坏，矿体连续性较差。厚度变化大，最大厚度可达 16.38m，最小厚度仅有 0.43m，平均厚度 6.85m。矿体单样品金最高品位 11.70g/t，最低品位 1.62g/t，平均品位 6.14g/t。

4. L_5 矿体

位于 L_3 矿体东部，为一盲矿体，长 55m，总体走向 $158^{\circ} \sim 338^{\circ}$ ，倾向北东，倾角 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$ ，厚度变化较稳定，最大厚度 3.95m，最小厚度 1.53m，平均厚度 2.96m。单工程金样品最高品位 38.78g/t，最低品位 6.56g/t，平均品位 17.56 g/t。

第二节 矿石成分及其组构特征

一 矿石特征

1. 矿物成分

根据光薄片鉴定及人工重砂样的结果分析统计，该矿床的矿物组合显示为低温特征。矿石类型为贫硫化物型。按照矿物共生组合可分为两种类型：（1）含金玉髓质石英脉型：以玉髓—方解石—银金矿—自然金为基本矿物组合。（2）蚀变岩型：以石英—黄铁矿—绢云母—自然金为基本矿物组合。

矿石中金属硫化物含量极少，蚀变岩型矿石中金属硫化物含量较高。矿物种类较复杂，主要金属矿物有银金矿、次生自然金、自然银、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等，脉石矿物有：石英、水白云母、绢云母、玉髓、方解石、冰长石、文石、石膏、重晶石等。此外还有褐铁矿、高岭石、铜蓝等氧化次生矿物。

2. 金矿物的粒度、形态及嵌布特征

金矿物以自然金、银金矿为主，其赋存状态有裂隙金、粒间金和包体金。金矿物的嵌布以粒间金为主，其含量占可见金总量的 97.8%，多赋存于石英晶粒间或石英与绢云母、方解石之间；裂隙金占 2% 左右，多赋存于石英、褐铁矿、绢云母裂隙中；包体金占 1.5% 左右，多见于方解石、文石叶片中。

金矿物粒度较细，多在 0.001mm—0.01mm，呈叶片状、薄膜状、微脉状、树枝状、网状、侵染状及团块状等，偶见自然银。

二 矿物共生组合特点

经镜下光片鉴定，金属矿物为自然金、银金矿、黄铜矿、黄铁矿等与非金属矿物石英、玉髓、方解石、文石等密切共生。矿石的元素组合由 Au、Ag、As、S、Fe、Cu、Zn 及 Pb 等组成，表现为一个多元素组合的特点。

三 矿石结构、构造

矿石结构主要有自形半自形微粒—细粒结构、隐晶—细晶结构、它形微粒结构、叶片状结构等。矿石构造有块状构造、条带状构造、骨架—板条状构造、竹叶状构造等。据西安工程学院等（1999）对矿石结构、构造的特征及形成环境所做的分析见表 3-1。

表 3-1 石英滩金矿床矿石结构特征表

结构构造名称	特征简述	形成环境
压溶叶片状结构及碎裂结构	黄铁矿矿物集合体受压沿一定方向分裂成大致平整（不光滑）的叶片状，或破碎成角砾和显微角砾状	挤压环境
条带状构造	不同颜色、不同结构的玉髓、石英，或不同矿物组合的矿物集合体各自成同一方向的条带相间出现	构造、热液多期活动
环状构造	围绕孤立的围岩碎块或早期玉髓脉碎片形成的同心圆条带	
角砾状构造	围岩或早期形成的脉体发生破裂被晚期含矿热液充填胶结	
骨架—板条状（格子状）构造	叶片状及板条状方解石呈不规则杂乱分布，形成三角形格架，格架中充填团块状方解石、微粒状石英及玉髓集合体，垂直板条两侧对称生长着梳状石英或其它矿物晶体	热液强烈沸腾的开放环境
胶状及变胶状构造	隐晶质石英或玉髓的细韵律条带，呈复杂曲面的平行条带、不规则同心圆状条带，各条带间渐变过渡，界线不清。若条带中隐晶质石英重结晶成垂直弯曲表面的针状、纤维状、柱状晶体，则成为变胶状构造	热液骤然降温，造成的强烈过饱和环境
晶洞及晶簇构造	板条状方解石构成的三角孔隙，矿石裂隙及角砾间隙被自形细粒短柱状石英晶体充填，石英晶体丛生成晶簇状构造	
星点状—斑点状构造	黄铁矿、黄铜矿、金—银系列矿物呈星点状分布于玉髓质石英脉中；矿石裂隙表面见大量被膜状同心圆形、梅花状及树枝状 Mo、Co、Cu、Ni、Fe 质黑色斑点	相对稳定的张性环境
脉状及网脉状构造	矿化石英脉切穿早期矿脉或沿围岩裂隙分布；矿体边部及角砾状矿石中，含金石英脉呈交错网脉状充填围岩裂隙或胶结围岩角砾成网脉状构造	

（据 305 项目报告资料（1999）整理）

第三节 围岩蚀变

矿床的围岩蚀变表现为面型青盘岩化及线形的热液蚀变，它们在时间上有一定顺序，空间上既有分带性又有相互叠加的特点。其分带从矿脉中心向外依次为：硅化内核带—泥化带—黄铁绢英岩化带—青盘岩化带。

1 硅化：出现在蚀变破碎带中心部位，空间上常与绢云母化、绿帘石化相互叠加，构成绢英岩化，与成矿关系最为密切。

2 碳酸盐化：是成矿后期热液活动的产物，表现出的矿石主要有方解石、文石等。通常为细脉穿插于含金石英脉、蚀变岩中，与矿化关系较密切。

3 绿泥石化：出现于破碎蚀变带中心部位的蚀变岩通常含有较多的黄铁矿，是成矿热液期产物，受破碎和角砾岩化作用，绿泥石通常沿脉壁呈断续状分布，黄铁矿位于脉体中心，呈浸染状分布。与成矿有一定的相关性，可作为找矿标志。

4 黄铁绢英岩化：呈带状分布于石英脉两侧围岩中。蚀变矿物组合为黄铁矿+石英+绢云母，早期蚀变与矿化关系不大，晚期黄铁绢英岩化常在含矿石英脉附近，与矿关系密切。

第四节 矿床成矿阶段

根据对矿床矿物共生组合、穿插关系及交代顺序等研究，将成矿阶段划分为火山岩浆期、火山热液期和表生期（见表 3-2）。

火山岩浆期：由于火山作用地幔岩浆上侵，形成安山质熔岩和安山质火山碎屑岩，这些岩石携带的矿质，经强烈蚀变，再次富集成矿体。

火山热液期：由于火山喷发后伴随的热液活动和构造活动，引起围岩发生蚀变，热液溶解了围岩中可溶性的物质，同时也带出易迁移的金属矿物，并从围岩中萃取一些金属硫化物—黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、白铁矿、毒砂和自然金和银金矿等。

表生期：由于表生作用，有自然金、褐铁矿和高岭石、粘土矿物生成，成为本矿床的次要矿化阶段，是自然金形成的主要阶段。

第五节 矿床地球化学特征

一 金元素地球化学背景及分布特征

根据以往研究成果，区内各类岩石金平均含量较高，高出地壳克拉克值（ 3.5×10^{-9} ）3~11 倍，全区岩石平均值为 25.79×10^{-9} ，高出成矿带金平均背景含量（ 0.97×10^{-9} ）数十倍，构成金的高背景区。

矿 物	火山 岩类	火山热液期		共生期
		I 阶段 黄铁矿-磁云母-石英	II 阶段 金-硫化物-石英	
石英				
玉髓				
细晶岩				
水白云母				
方解石				
文石				
绿帘石				
黑金矿				
自然金				
黄铁矿				
白铁矿				
磁黄铁矿				
黄铜矿				
辉钨矿				
磁铁矿				
褐铁矿				
硬锰矿				
自然铜				
汞金矿				
毒砂				
冰长石				
斜长石				
水辉石				
高岭石				
绿沸石				
黑云母				
孔雀石				
石膏				
特征矿物		S, As, Fe, Pb, Cu, Zn	S, As, Fe, Cu, Pb, Au, Ag	
均一温度			108.4-190.5℃	常温
矿化状况			主要Au矿化阶段	次要矿化阶段

表 3-2 石英滩金矿石的矿物生成顺序表

(据新疆第一地质大队石英滩金矿普查报告(1994)整理)

各类岩石相比,在矿体直接赋存的一套中酸性安山质—英安质火山熔岩、火山碎屑岩及流纹斑岩次火山岩杂岩体中,其金平均含量明显高于细粒英云闪长岩及石英二长斑岩脉,显然,矿体形成与该套高背景含量火山—次火山杂岩有着某种内在的联系。

二 金及伴生元素地球化学异常特征

矿区内最初地表地球化学分析发现,金异常似乎受 F_1 断裂控制可分为南、北两部分,有人称“姊妹”异常(图3-2)。

北东侧的金原生异常有两个浓集中心,中心值分别为 4500×10^{-9} 和 2200×10^{-9} ,南部异常有三个浓集中心,中心值分别为 680×10^{-9} 、 50×10^{-9} 、 70×10^{-9} 。 F_1 断裂是一个重要的构造,其两侧异常差异较大。北部异常强度高、集中,具有清楚的浓集分带;南部异常强度低、分散,分带性差。北部两个异常为矿致异常,分别由 L_1 、 L_3 两条矿体引起。南部为矿化异常,是由分散矿化引起。随着后续勘查评价和研究的深入,发现 F_7

断裂以东北侧应是一成矿热液活动的集中区段。

此外, Ag、As 两元素也有较好的异常显示。其中 Ag 的最高值为 1.76×10^{-6} , As 的最高值为 600×10^{-6} , 浓集中心与金的不一致。As、Sb 的异常强度较高, 异常范围与金的吻合较好。Hg 异常在 Au 异常的东部有较好的显示。以上各元素均有好的水平分带。以矿体为中心, 由里向外呈现出 Au-Sb、As-Ag、Hg 的异常分带组合。此外, Cu、Bi、Pb、Zn 在矿床中也有一定的异常显示, 只是其原生异常强度低, 规模小, 分散。总之, 在矿床的地表, 成矿元素、前缘元素同时出现, 尾晕元素也有异常显示, 且成矿元素 Au 的规模最大, 强度最高, 说明该矿床金矿体已经剥蚀到一定的深度, 才会出现这样的异常组合分带特征。

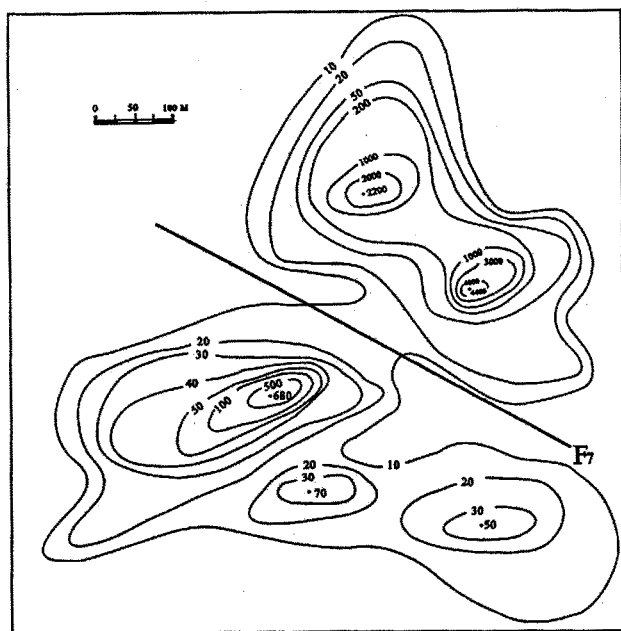


图 3-2 石英滩金矿床 Au 原生地球化学异常图

(据西安地质学院 305 项目康古尔塔格金矿带
控矿规律及靶区优选评价研究 (1995) 资料整理)

第四章 矿床断裂系统研究

第一节 石英滩金矿床断裂构造总体格局

石英滩金矿床分布在塔里木板块北缘晚古生代岛弧上,处于康古尔塔格深大断裂南侧,与雅满苏大断裂交汇处,该处构造复杂,火山岩浆活动十分频繁,是成矿作用最理想的场所。

矿床产出于石英滩古火山机构的中心管道相的外侧,与火山通道十分接近。这里岩石节理、裂隙、断层发育,岩石破碎,为成矿热液运移和矿质沉淀提供了良好的空间。矿区断裂构造十分复杂,根据其形成时代及与成矿的关系,大致分为三类:即成矿前断裂构造,成矿期断裂构造,成矿期后断裂构造。

一 成矿前断裂构造

受着区内长期、持续性构造活动控制的一系列 NWW 向断裂系统 (F_{10} 、 F_7 、等)。

F_7 与 F_{10} 间是石英滩金矿床所在的古火山通道区(破火山口区)(图 3-1)。 F_{10} 北东盘下降,南西盘抬升,致使破火山口的上部受到剥蚀,故火山机构的上部特征构造仅有残留,而不明显甚至模糊不清。断裂总体产状为:走向 $110^{\circ} \sim 290^{\circ}$,倾向北东,倾角 $75^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。本区带状分布的绿泥石、绿帘石、碳酸盐岩化均受成矿前断裂构造的控制。它们与后期北东向、北西向断裂复合并进而分割该区火山熔岩呈斜方块、多边形、三角形等。

二 成矿期断裂构造

在成矿期,由于火山岩浆的多期活动,产生的应力作用部分地继承、破坏或改造了早期断裂,尤其是火山机构的放射状、环状断裂系的产生,形成了 NE 向、EW 向和 NW 向裂隙系统,为矿床形成提供了良好空间。就本区而言,区域构造应力作用的康古尔塔格断裂与雅满苏断裂相对运动,在本区首先形成二级火山构造岩带,它们构成了矿体、矿脉的次一级断裂、裂隙等控、容、储矿构造。这些应属于受二级构造控制次一级成矿构造。这些断裂的产状在多次构造作用下多发生变化,大致呈近东西向, NWW 向,倾向北西或北东,高倾角的摆动不定,但多数是向北陡倾。

三 成矿期后断裂构造

本期断裂构造较主要的是 F_3 、 F_4 与 F_{12} ，其产状为倾向 $NW40^\circ \sim 50^\circ$ ，倾角 70° 以上。它们是石英滩金矿床的矿段分划性断裂构造。 F_4 断裂系统既分隔了 L_3 与 L_1 ，又与 F_{11} 复合控制 L_3 矿体的形态（走向 $112^\circ \sim 292^\circ$ ，倾向北，倾角 $40^\circ \sim 60^\circ$ ，矿体中部倾角 70° ）。致矿体东段走向 290° 在西端向南拐为 230° ，且在转折处倾角变陡达 70° 。

另外，还有另一个成矿期系列的断裂构造，总体走向为 $150^\circ \sim 330^\circ$ ，其北段为 $175^\circ \sim 355^\circ$ ，倾向 NE 或 SW 陡倾。地面多伴随片理化的绿泥石化带，且控制着灰绿色闪长玢岩脉延伸。

第二节 石英滩金矿床古火山机构特征分析

一 石英滩古火山机构特征

石英滩火山机构分布于火山构造盆地中央。破火山口在地貌上为一椭圆状负地形，出露面积约 60km^2 ，产状锥状外倾。北界产状为 $355^\circ \angle 82^\circ$ ，南界产状 $195^\circ \angle 68^\circ$ （图 4-1）。火山机构的管道相中心部位为碎斑状花岗斑岩，据物探资料分析，花岗流纹斑岩杂岩体中心下部存在一个椭圆状低重力异常区，推测是由隐伏的酸性岩体引起的。管道相的外侧为喷溢相和爆发相，根据岩性可以划分为 16 个喷发韵律，每个韵律基本上以爆发相开始，以喷溢相终结。晚期大量次火山岩和花岗斑岩岩株沿管道侵入，火山活动结束。

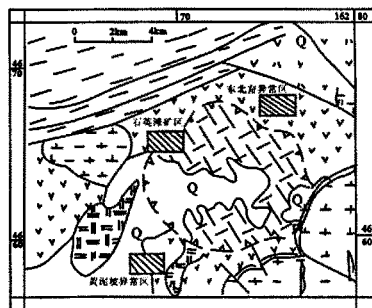


图 4-1 石英滩火山机构略图

（据新疆第一地质大队资料（1995）整理）

根据姬金生(1995)等对该区火山岩的研究,认为此火山为中心式喷发,由火山口向外火山岩成分依次为安山质—英安质集块岩—火山角砾岩—凝灰岩—熔岩。火山活动晚期的花岗流纹斑岩体与周围火山岩呈侵入接触关系。花岗流纹斑岩杂岩体中心为破碎花岗斑岩,向外过渡为流纹斑岩,边缘相为碎屑流纹岩,三个相为过渡接触关系,没有明显界限。总体看来,碎斑状熔岩,碎斑流纹岩显示环状分布特征,而残存的河流相沉积岩层在火山机构南缘依然显示环状特征。

二 火山机构断裂系的形成原理

火山是一种独特的地质作用的产物,火山活动不仅产生大量火山岩,火山碎屑岩等物质。而且由于火山活动本身是高压炽热的岩浆从地壳下经过一定的通道上升至地表,连续的降压降温的过程^[22]。因此,无论是在地下还是地表,岩石必然受到温压急剧变化的影响,产生变形,破裂,围绕岩浆生成一系列断裂和裂隙,构成火山机构断裂系统。

火山机构断裂系统是由围绕火山口发育的环形和放射形断裂系,组成的一种纵横交错的复杂断裂系。这种火山机构断裂系统平面上表现为环状、放射性断裂。剖面上则表现为锥状断裂。图 4-2, 4-3 关于环状、圆锥状和放射状断裂的形成机理,一般认为:中心式喷发的火山,岩浆来自上地幔,炽热的岩浆温度较之地壳岩石温度高出许多。这样高温的岩浆伴随着强烈的蒸馏,由地下顺围岩中心裂隙上升,必然造成与围岩间产生

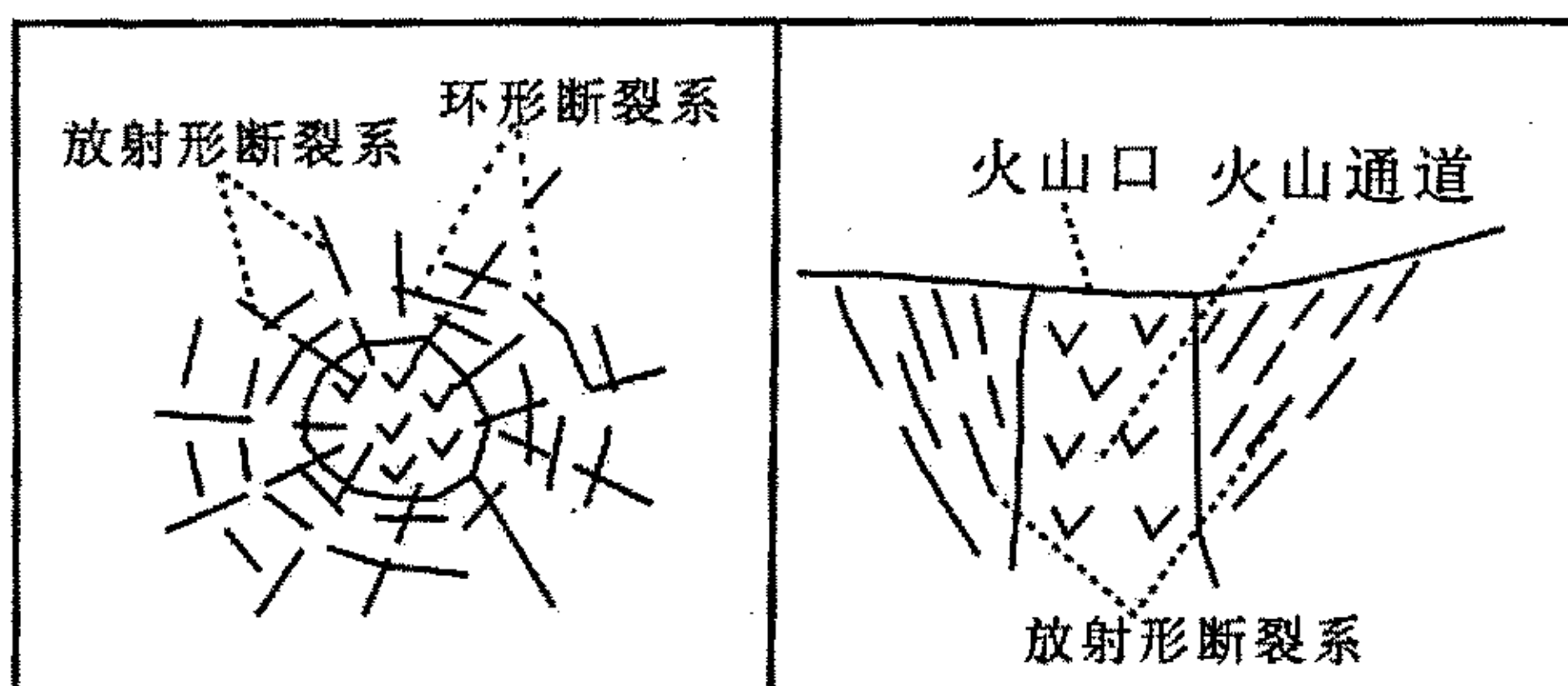


图 4-2 火山机构平、剖面理想示意图

一个热力陡变带^[23],在热力陡变带的界面上岩石因冷热不均而发生破裂,在垂直方向上,由于地热增温率的关系,深部岩石较地表岩石温度高,与岩浆温差相对较小,因此受岩浆温度影响的围岩范围半径必然自下而上增大,这就是说,可能产生的环状断裂自下而上半径增大呈圆锥状。另外在岩浆上升过程中,必伴随着压力的释放。高压的熔浆伴随强烈的蒸馏沿着狭小的火山通道上升,必然会不断挤压围岩,岩浆上升对围岩所产生巨

大的挤压应力和因热力变陡所造成的作用一起共同形成一种以通道为中心的环状断裂，同时还要形成一系列的张性断裂。尤其是在岩浆冲破地壳发生猛烈的火山爆发时，这种压力的释放主要通过近地表的环行断裂和放射性断裂迅速扩大而实现。

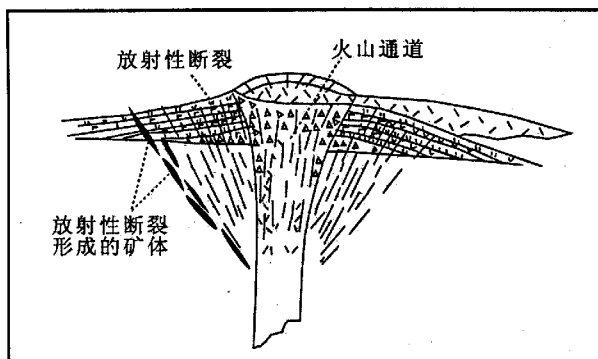


图 4-3 火山机构剖面理想模型图

火山口形成过程中主要造成张性的放射性断裂，环状断裂在此时形成，但表现为压性为主，因此发展较慢。破火山口形成时火山锥及下部岩石发生沉降，因此放射状断裂表现为张性特点，而环状断裂则由张性转为压扭性。总之，中心式火山形成过程中必然形成与之配套的环行断裂和放射性断裂组成的火山机构断裂系。为火山期后热液的运移和矿质的沉淀提供了良好的通道和空间。

三 石英滩矿区石英脉地表展布特征

石英脉是火山活动时，地壳深部火山期后热液通过地壳深部裂隙到达地表的客观反映，其空间存在方式可以通过石英脉在地表展布得以反映。石英滩金矿床地表出露石英脉大大小小近几十条，通过对石英脉走向个数统计发现石英脉走向近 NW—SE，NEE，NNE 向的占全部石英脉的 80% 以上，该组方向的断裂就代表的是与古火山口径向相垂直或近似垂直的方向，即火山口的放射状裂隙方向，而 NW 向，近 SN 向石英脉仅占有全部石英脉的 20%，该组石英脉则表现为火山口的环状裂隙，由此可以看出，在该古火山口形成断裂系统中，放射状裂隙占据主导作用地位。

从矿质沉淀角度来看，已探明的矿体 L_1 ， L_4 以及具有良好矿化的石英脉，都是产于放射状裂隙中，因为放射状裂隙无论是在形成过程中还是形成后，都表现为张性环境。张性空间是最利于矿液的运移和矿质的沉淀。 L_3 矿体受环状裂隙及 NEE 裂隙控制，交

汇处矿体膨大呈蟹状。而 NW 向的石英脉多表现为弱矿化或不具有矿化。

第三节 控矿构造分析

包括火山热液型金矿床在内的所有的热液矿床,构造活动是其形成的必备条件^[24]。石英滩金矿床矿体、矿脉的产出、分布、形态完全受断裂构造的控制,在本区,控矿构造主要表现为断裂构造控矿。

一 区域性深大断裂与金矿的关系

研究区内区域性深大断裂主要为康古尔塔格和雅满苏断裂,断裂带呈 NEE 向展布,宽几百米,一般表现为早期右行韧性剪切—晚期左行脆性阶段。在区域上控制了金矿带的展布,但对矿床,矿体没有直接的控制作用,而且断裂带内本身也无金矿产出。但区域性断裂是火山岩浆活动的主要诱发因素,所以它对金矿的形成起着重要的作用。

二 L_4 矿体中段控矿构造分析

L_4 矿体是石英滩金矿床已探明主要的一个隐伏金矿体,该矿体形态较规则,呈透镜状,走向 135° , 向南东侧伏,走向最大延伸 250m。通过对已开采中段的观察分析,发现矿体断裂构造十分发育,交错纵横。这些断裂中,即有对矿体形成起主导作用的导容性断裂,又有后期对已形成矿体起破坏、改造作用的断裂,还有一些断裂控制了围岩及脉岩的产出状态。

在采矿坑道 800m 中段(图 4-4),断层 F_8 为最主要和最大的断裂构造, F_8 断层出露于穿脉巷道 CD77 南侧 10m 的处,在 CD77 巷道顶端 F_8 断裂的位置,见有强烈变形的断层泥和断层破碎带。断层面平直,光滑,控制了石英脉的延伸。产状 $150^\circ \angle 78^\circ$, 在含金石英脉靠近断层面附近,石英脉被断层破坏形成宽约 0.5cm 的烟灰色黄铁矿化碎裂石英细脉。从石英脉向容矿围岩,明显的显示出 4 条成分和组构特征不同的断层活动的标志性组构带(图 4-5)。依次为:1. 烟灰色黄铁矿化碎裂石英脉带,宽 0.5cm。石英脉呈灰色—烟灰色,破碎较强。2. 灰色—深灰色断层泥,宽 0.5—1cm,其间穿插有细脉状黄铁矿。3. 断层泥揉皱带,宽 1cm,断层泥被强烈揉皱成粉末状。4. 碎斑状剪切变形流动带,宽 1—2cm,岩石受剪切拉长变形形成旋转碎斑等初脆性变形的组构特征。大部分旋转碎斑显示为左形顺时针剪切。5. 安山质角砾熔岩裂隙带,宽度大于 5cm。断层带内见有不规则的黄铁矿细脉,脉宽 0.5—2cm,产状 $16^\circ \angle 72^\circ$, 通过对 F_8 断层面和黄铁矿脉产状作极射赤平投影,得出两个面相交滑移线产状为 $85^\circ \angle 52^\circ$, 与实测滑移线相比(实测值为 $85^\circ \angle 50^\circ$) 两者极为接近。两个面相交的锐夹角为 54° 。该夹角指示 F_8 断层滑移方向为顺时针平移,亦有逆断滑移分量。初步确定在成矿期该断层

性质为平移逆断层。另外滑动面上擦痕线实测产状为 $85^{\circ} \angle 50^{\circ}$ ，呈突出的棱柱，滑动面平直光滑，断层泥发育。断层泥上显示的擦痕线的产状是沿倾斜线方向的最晚一期

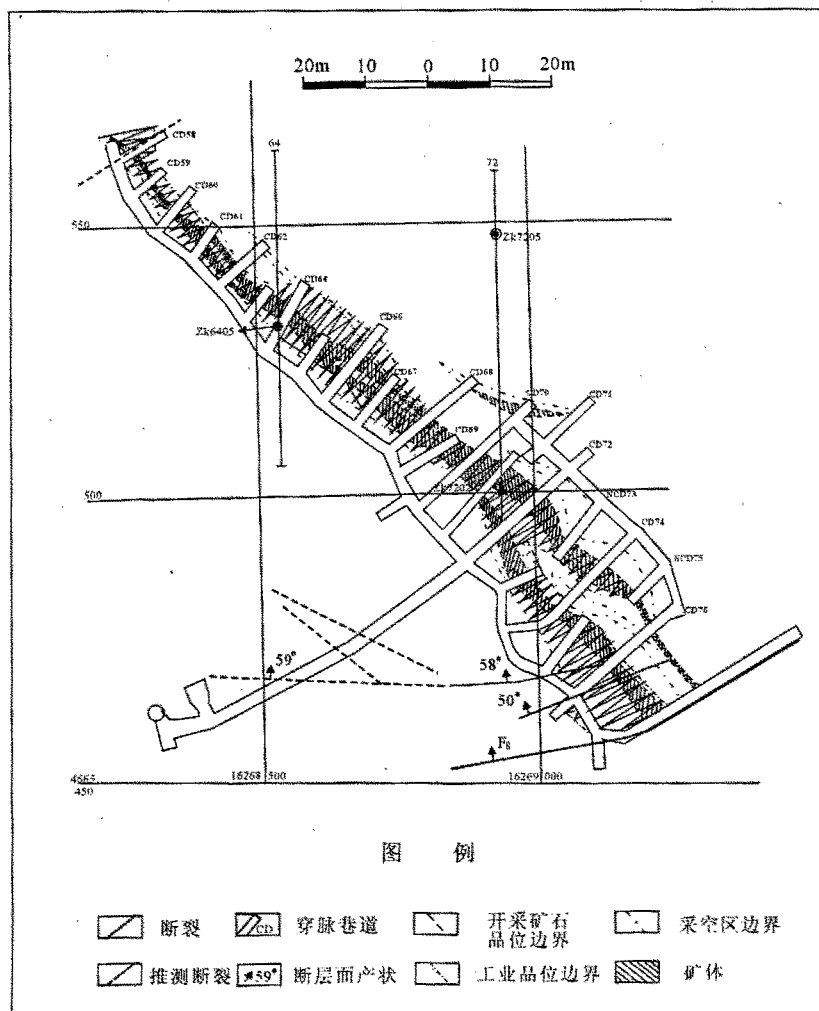


图 4-4 石英滩 L₄ 矿体 800m 中段采矿平面图

滑移线，多表现为上盘下滑的正断层滑移性质，是晚期重力作用沿断层面留下的擦痕线。

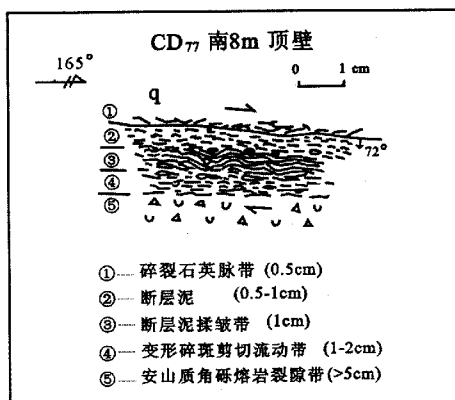


图 4-5 F_8 断层带变形组分带分布特征图

断层带内见有不规则的黄铁矿细脉 (图 4-6)。通过对 F_8 断裂带及其旁侧石英脉和含黄铁矿石英脉取样进行试金分析, 发现有这样的规律: 石英脉含 Au 品位均在 3—5g/t 之间, 而含黄铁矿的石英脉 Au 分析值均低于 0.2g/t, 与本区容矿围岩安山岩相当, 表现为弱的矿化或不具有矿化现象。以上表明作为金的常见载体矿物—黄铁矿等硫化物在该矿床不是作为金的载体矿物, 真正达到工业品位的石英脉不含或少含黄铁矿。其可能的原因是, 在断裂活动期存在着一期或几期富含黄铁矿等硫化物的热液活动, 而此次热液活动并没有含矿溶液的加入。

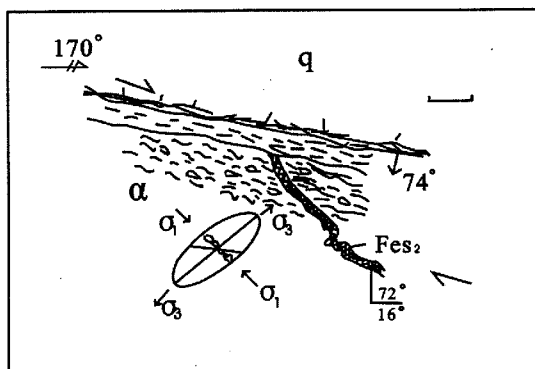


图 4-6 F_8 断层泥带内黄铁矿细脉穿插关系素描图

此外，在 F_8 断层附近有多条产状近于平行的次一级小断层，其中在 800m 中段 CD75 南端见一条断层，断层面平直光滑，向北倾，产状 $355^\circ \angle 60^\circ$ 。断层切割石英脉和围岩—安山岩，使含金石英脉在该处错距达 3m 左右，错移方向为顺时针右行，其性质为逆平移断层。

在 L_4 矿体 840m 和 880m 中段，其断裂构造特征与 800m 中段基本一样。在 840m 中段 CD4 北端东壁出露一个断层，产状 $125^\circ \angle 42^\circ$ ，断层泥发育，实测断层擦痕线产状 $125^\circ \angle 45^\circ$ ，根据擦痕线滑动方向可推断该断层为逆平移断层，断层带内构造透镜体呈斜列产出，总体产状 $146^\circ \angle 54^\circ$ 。断层泥绕其分布，微有揉曲，其构造特征与 800m 中段 F_8 断裂基本一样（图 4-7）。

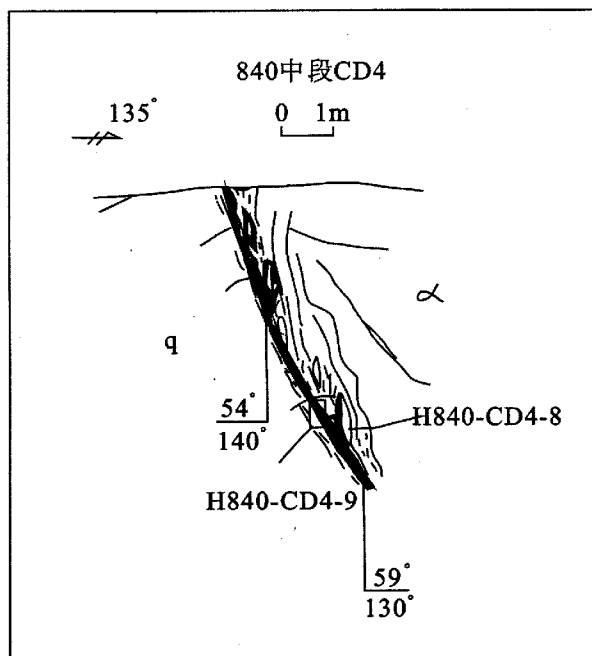


图 4-7 840m 中段 CD4-1 断层素描图

构造控矿在石英滩金矿区与金矿化关系最为密切的断裂构造可概括成以下三种。

导矿构造 矿区内 NEE 向断裂构造均属矿区内规模较大的 II 级断裂构造。不仅其右侧具有较大的工业矿脉分布，其内部也有较强烈的矿化和蚀变。但大量的探矿工程又

证实,上述断裂蚀变带本身并未构成工业矿体,说明其属导矿断裂构造的范畴。

交汇构造 矿区内早期的断裂与晚期北东和北北东方向的断裂构造的交汇部位控制了矿区内工业矿脉群的分布。如近东西向分布的 L_1 和 L_3 工业矿体。其中 L_3 矿体平面形态为蟹状,明显是由三组断裂交汇而形成,交汇部位矿体宽大,品位变富。上述部位控矿的主要原因与本区近北东向断裂带和北西向断裂往往具多期及长期性,从而诱导浆及岩浆热液活动和促使围岩中金及其它组分活化迁移有关。两者的交汇部位为使含矿热液有利的沉淀成矿区间。

容矿构造 受火山作用的影响,在火山口边缘及附近产生的放射状断裂,在矿区表现为几组北西向的断裂。含矿热液在相对较封闭的放射状断裂中沉淀,是工业矿体的直接容矿空间,控制了工业矿体的空间分布。

第五章 矿床地球化学研究

含金成矿溶液在沿断裂构造带上升、充填、渗滤、扩散过程中,随着物理化学的变化成矿溶液的成分、性质以及围岩成分都不断变化。金及其伴生元素的地球化学性质的差异导致了各元素沉淀时间存在前后,空间分布出现分带。这种分带在宏观上表现为金矿床的蚀变和矿物共生组合分带,而在微观上则表现在地球化学异常中元素组合及其相关关系的分带上^[25]。李惠等对中国山东地区 58 个典型金矿床原生晕轴向分带序列统计结果^[26],得出国内大、中型金矿原生晕轴向分带序列,从上至下为: B-As-Hg-F-Sb-Ba-Pb-Ag-Au-Zn-Cu-Bi-Mo-Mn-Ni-Cd-Co-V-Ti。金矿床的分带不仅表现在岩石地球化学异常方面,而且表现在某些矿物(如黄铁矿等)和包裹体的成分方面。矿床地球化学参数一般指元素含量的均值、方差、变化系数、衬值,以及线金属量、面金属量、元素组合、相关系数、相关指数、综合分带指数、环境参数及热力学参数(温度、压力、酸碱性、氧化还原电位)等等。

脉状热液金矿成矿元素析出沉淀遵循一定的顺序,并与相应的成矿阶段相一致。上部断裂构造的张开、充填、凝固对断裂构造起“焊接作用”^[25],阻挡屏蔽了下一期次矿液的上升,后来的矿液只能屈居前次成矿体之下依次充填、凝固,由此最终导致了脉状热液金矿的垂向分带。

指示元素分带序列的建立对于研究隐伏金矿体存在的可能性、矿体的规模、矿体的埋藏深度以及矿体的剥蚀深度都具有很大的指导意义。

第一节 野外和室内工作方法简述

一 野外样品采集

野外采样是以石英滩金矿床 L_4 矿体已开采中段及深部钻孔为对象,共完成 5 个中段系统的采样,其中 880m、840m 和 800m 中段是在开采坑道的穿脉中进行的,每个中段由 3 个穿脉采样剖面控制。采样剖面分别布置在各中段的东、中、西部,以达到控制全矿体的最优效果。样品采于矿体穿脉巷道,样点间距 5m。750m 和 675m 中段分别由钻孔 ZK8004 和 ZK8006 的系统样品控制,样点间距 3-4m。样品重 200-300g,为保证其代表性采用连续捡块组成样品。 L_4 矿体野外共采样品 400 余件。

二 室内分析

样品分析项目所选取的指示元素是根据国内金矿床原生晕的一般通用指示元素^[27],

选择 Au、Ag、As、Sb、Hg、Cu、Pb、Zn、Bi、Mo 10 个元素。样品分析由长安大学分析测试中心完成。样品分析方法：Au-化学光谱分析；Cu、Pb、Zn-原子吸收分析；Ag、Mo-光谱分析；As、Sb、Hg、Bi-原子荧光分析。

第二节 L_4 矿体原生晕组合特征

在所选择的 10 个指示元素中，Pb 元素几乎没有起伏变化，没有指示意义，因而在组合研究中舍去 Pb 元素。其它 9 个指示元素均有指示意义。

一 L_4 矿体原生晕主要指示元素含量变化与概率分布

指示元素在各中段原生晕中的参数及原生晕宽度变化见表 5-1。

(一) Au 元素

由表 5-1 可知，Au 的几何平均值由上向下含量逐渐增高，直至 750m 中段，从 219.9×10^{-9} 增至 596.4×10^{-9} ，增加 2.71 倍。到 675m 中段降至 72.5×10^{-9} 。各中段的西部和东部 Au 含量变化也有相似规律。从 Au 原生晕宽度看，矿化规模在中段水平上，中部最大，其 Au 含量标准差相对于东西部也较大。

L_4 矿体 Au 原生晕中 Au 含量的频率直方图见图 5-1。Au 含量概率母体呈复杂的变化，由于采矿工程未切穿原生晕的全部宽度，在含量频率直方图上 A 母体已代表中等强度的原生晕，B、C 母体为高强度原生晕，D 母体可以划入金矿化母体，E、F 为中低强度矿化，G 为富矿。

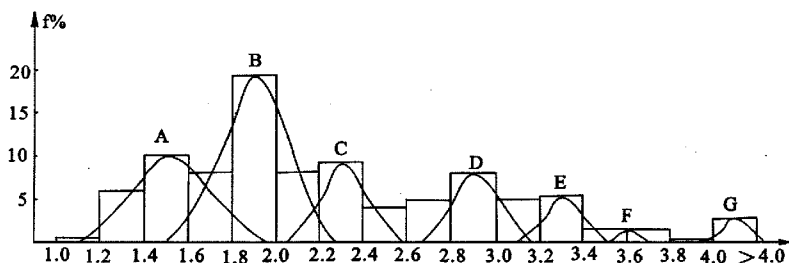


图 5-1 石英滩金矿床 L_4 矿体坑道、钻孔控制原生晕 Au 含量频率直方图

大于 1000×10^{-9} 的 Au 含量累积概率约 19%，大于 10g/T 的概率为 3%。从频率图看这些母体无疑是服从对数正态分布的。

表 5-1 石英滩金矿床 L₁ 矿体各中段原生晕指示元素参数与晕的宽度

中段		880			840			800			750	675
工程		CD64	CD52	CD66	CD68	CD56	CD73	CD72	CD59	CD76	ZK8004	ZK8006
Au	X	219.9	115.1	501.1	243.7	261.6	710.7	335.6	917.4	727.3	596.4	72.5
	S	5.15	2.15	3.14	6.38	3.28	5.05	5.22	6.24	2.35	10.19	3.07
	L	21	15	20	80	22.5	24	97.5	13	32	39	64
Ag	X	1.22	0.33	0.91	0.712	0.596	1.303	0.57	1049	0.80	1.26	0.28
	S	1.81	2.00	1.89	3.66	2.87	2.96	3.97	3.34	2.00	4.78	1.99
	L	18	10	15	62.5	16.5	20.5	94	15.5	30	26.5	44
As	X	154.0	149.5	12.42	66.7	64.1	34.6	83.93	110.6	60.3	48.17	59.4
	S	1.37	1.86	1.90	1.84	2.55	1.39	2.17	1.68	2.11	1.76	2.11
	L	28	17	16.5	67	17.5	16	86	10	32	24	54.8
Sb	X	10.57	8.05	7.92	5.24	4.98	2.52	6.34	4.39	4.37	3.34	3.79
	S	1.61	1.45	1.76	1.82	1.93	1.36	1.89	1.57	1.73	1.83	1.81
	L	25	16	20	76	19.5	20	85.8	14.5	32	26	48
Hg	X	266.8	247.8	249	123.1	58.1	53.4	57.7	72.2	73.2	95.51	153.2
	S	1.74	2.17	1.45	2.65	1.69	1.29	1.25	1.89	2.32	1.67	2.29
	L	30	17.5	21.5	68	12.5	12	66	15	31	22.5	50
Cu	X	26.7	24.7	25.4	26.8	49.8	22.4	23.7	30.9	22.5	28.6	38.5
	S	1.19	1.16	1.15	1.37	3.2	1.12	1.17	1.10	1.02	1.35	2.06
	L	12.5	10	6	47	16.5	4.5	42.3	4	7	10	48
Zn	X	41.4	45.2	25.4	26.8	49.8	22.4	23.7	30.9	22.5	28.6	38.5
	S	1.24	1.40	1.32	1.39	1.57	1.33	1.33	1.26	1.18	1.26	1.36
	L	18	12	13	66	13	14.5	88	7.5	12	23	54
Bi	X	0.114	0.045	0.087	0.15	0.18	0.09	0.14	0.748	0.11	0.106	0.135
	S	1.97	0	0.01	0.075	0.119	0	0.68	1.069	1.37	1.28	1.70
	L	14	3	4.5	53.5	6.5	3	67	5	7	22	56.5
Mo	X	17.17	9.59	5.97	6.92	11.92	14.96	8.59	2.64	7.91	4.58	9.91
	S	1.60	1.79	1.73	1.40	2.52	1.33	3.7	0	1.26	1.33	2.52
	L	16.5	12	8	23	8.5	8	19.5	2	28.5	10	17

说明: X-几何平均 S-标准差 L-原生晕宽度(m) 元素含量: Au、Hg 为 1×10^{-6} , 其余为 1×10^{-4}

样品个数 n=208

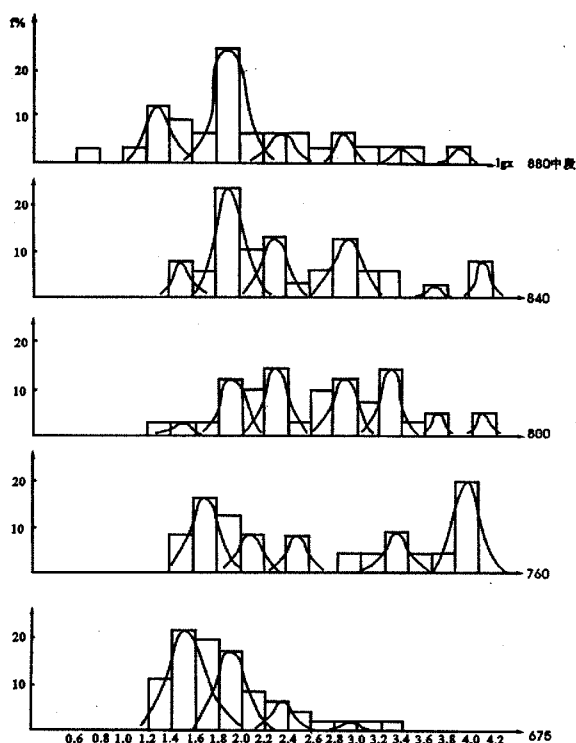


图 5-2 石英滩 L_4 矿体各中段 Au 原生晕频率变化

图 5-2 表明 Au 含量在垂向上的变化规律：富矿化主要集中在 840m-750m 中段；大于 1000×10^{-9} 的 Au 含量概率由上至下五个中段分别为 12.5%、20.5%、33.33%、45.81% 和 4.44%； 10g/t 以上 Au 含量概率分别为 0%、7.69%、4.76%、20.8% 和 0%；880m 和 840m 中段含 $\text{Au}63-100 \times 10^{-9}$ 的概率最高，800m 中段含 $\text{Au}158-251 \times 10^{-9}$ 和含 $\text{Au}1584-2511 \times 10^{-9}$ 的概率最高，750m 中段含 $\text{Au}10\text{g/t}$ 以上的概率最高，675m 中段含 $\text{Au}25-39 \times 10^{-9}$ 的概率最高。

(二) Ag 元素

Ag 元素原生晕含量变化规律与 Au 相似，达 g/t 级的 Ag 含量主要集中在 840-750m 中段， 5g/t 以上的含量除这三个中段以外，其余中段不存在。在 750m 中段 Ag 且有最大的方差(表 5-1)。但总体上 Ag 的原生晕规模与 Au 相似。

(三) As、Sb、Hg 元素

由表 5-1 可以看出, As、Sb、Hg 三个前缘元素的最大几何平均值全部集中在 880m 中段, 显现出典型的前缘晕特征。但原生晕宽度 As、Sb 最大值在 800m 中段, 而 Hg 的最大宽度在 840m 中段, 反映出叠加晕特征。As、Sb、Hg 三个前缘元素的高含量最大概率也集中在 880m 中段。值得注意的是 As、Sb、Hg 在 675m 中段同 750m 中段相比几何平均含量均有增高, As 由 48.17×10^{-6} 增至 59.4×10^{-6} , 标准差由 1.76×10^{-6} 增至 2.11×10^{-6} ; Sb 由 3.34×10^{-6} 增至 3.79×10^{-6} , 相应的标准差变化不大; Hg 由 95.51×10^{-9} 增至 153.2×10^{-9} , 增加幅度出现数量级的差异, 其标准差增幅也较大, 由 1.67×10^{-9} 增至 2.29×10^{-9} 。从原生晕宽度来看则是成倍增加。

从前缘元素的下部中段增量的信息看, L_4 矿体在 675m 中段以下有可能变富, 出现金的盲矿体。 L_4 原生晕 As、Sb、Hg 在各中段的含量变化见图 5-3。

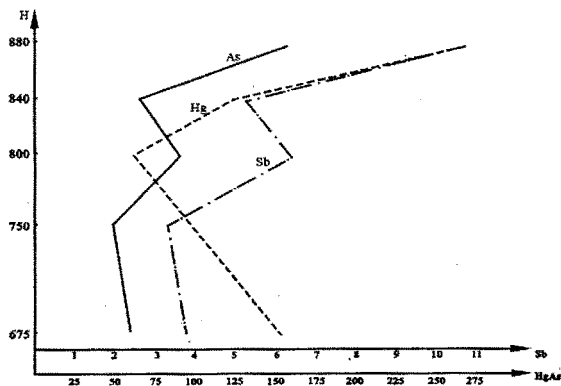


图 5-3 石英滩 L_4 As、Sb、Hg 原生晕含量在各中段的变化

(四) Bi、Mo 元素

Bi、Mo 元素的含量在各中段的变化比较复杂。作为金矿床原生晕的常规尾部元素, 由于该矿床成矿作用的多期次脉动式叠加, 使 Bi、Mo 元素含量垂直变化未呈现由上至下的单调变大的情况。在主剖面上, Mo 的高含量出现在 880m 和 675m 中段两个极端。在 L_4 矿体走向两端纵向上西端高于东端, 显然这与矿体及其原生晕向 SE 侧伏有关。Bi 元素总趋势是由上至下平均含量增高, 但最高平均含量集中在 840m 中段 (0.15×10^{-6}), 而 675m 中段 Bi 几何平均值与 840m 中段所差无几 (0.135×10^{-6})。

(五) Cu、Pb、Zn 元素

石英滩矿床及其围岩中, Cu、Pb、Zn 三个金属元素呈亏损状态。Pb 分析报出数据大多为 10×10^{-6} , 很少有超过 12×10^{-6} 的含量, 对成矿无指示意义。Cu、Zn 虽呈亏损状态, 但在原生晕中仍有相对富集。Cu 表现为相对富集靠近尾部。Zn 表现出其含量变

化在低水平上比较平稳。

二 L₄矿体原生晕指示元素组合特征

(一) 相关组合

对 840m 中段和 675m 中段 (ZK8006), 分别挑选 25 的子样容量进行多元回归分析^[28], 获得指示元素的相关、偏相关矩阵见表 5-2、5-3。

表 5-2 L₄840m 中段原生晕指示元素相关、偏相关矩阵 n=25

	Au	Ag	As	Sb	Hg	Cu	Zn	Bi	Mo
Au	1.00	.88	.34	.45	.60	.08	-.35	-.54	.34
Ag	.76	1.00	.48	.62	.72	.04	-.31	-.50	.41
As	.07	-.06	1.00	.86	.64	.31	.04	-.05	.28
Sb	-.26	.23	.74	1.00	.78	.36	.05	-.12	.42
Hg	.00	.33	-.08	.41	1.00	.39	-.03	-.19	.26
Cu	.43	-.36	.00	.10	.33	1.00	.65	.43	.06
Zn	-.24	.17	-.11	.13	-.21	.58	1.00	.61	-.12
Bi	-.29	-.06	.15	-.21	.11	.27	.26	1.00	.00
Mo	.12	.13	-.19	.37	-.27	-.03	-.17	.35	1.00

注: 上三角为相关系数, 下三角为偏相关系数, 下同

表 5-3 L₄675m 中段原生晕指示元素相关、偏相关矩阵 n=25

	Au	Ag	As	Sb	Hg	Cu	Zn	Bi	Mo
Au	1.00	.78	.09	-.13	-.69	-.02	-.69	-.36	-.35
Ag	.75	1.00	.43	.16	-.67	.27	-.79	-.02	.02
As	-.31	.32	1.00	.80	.05	.42	-.28	.35	.16
Sb	.25	-.20	.78	1.00	.34	.49	-.01	.35	.30
Hg	-.09	-.15	-.05	.38	1.00	.14	.78	.41	.12
Cu	-.39	.51	-.24	.42	-.08	1.00	.07	.39	-.01
Zn	.12	-.45	-.16	-.06	.41	.27	1.00	.35	-.02
Bi	-.20	.35	.29	-.22	.15	.11	.43	1.00	.37
Mo	-.57	.38	-.42	.45	-.08	-.42	-.11	.27	1.00

1. 由表 5-2 可知, 矿区 840m 中段的原生晕中 Au、Ag 呈稳定而较密切的共生关系, 并有一定的预测意义。以信度 $\alpha=0.05$ 为准, AuAg、AuBi、AuSb 呈不稳定的相关关系, 在偏相关系数中, 这几个元素对均呈现不显著的相关性; 前缘元素中 AsSb、SbHg 共生较稳定和密切, 而 AsHg 共生不稳定; CuZn 中等密切共生, 也比较稳定。

2. 由表 5-3 可知, 675m 中段, AuAg 关系与 840m 中段相似, 但相关系数略小, AuHg 负相关, 且变化较大; AuZn、AuBi、AuMo 负相关, 并多不显著, 可能与分带有关。As Sb

相关, 偏相关系数大于 840m 中段; HgZn 共生中等稳定。AgHg、AgZn 负相关, 与分带有关系。

3. 840m 中段 AuAg 相关性的预测意义: AuAg 相关系数为 0.88, 偏相关系数 0.76, 其回归方程为 $Au=2.82+1.16Ag$ (对数方程), 其真数方程为: $Au=660.6Ag^{1.16}$ 。此方程对 中低 Au 含量的预测有一定的参考意义。不过 0.88 的相关系数对预测 Au 含量必竟还是略小了一些, 一般相关系数在 0.95 左右, 预测效果比较好。

三 指示元素的分类

指示元素的分类见谱系图(图 5-4, 5-5)。

由图可以看出, 在两个不同的中段上指示元素的分类相似: Au、Ag 均密切地处于一个独立分组中, 在 0.5 的相似水平上另一类包容了其它 7 个指示元素。在相似水平提高时则显出元素分类的细节: AsSb 两个前缘元素在 840m 和 675m 中段上均同属一类; 675m 中段, 在相似水平 0.6 上, 出现 Hg、Zn、As、Sb、Bi、Mo 为一个大类, 表明在主成矿期矿化的尾部晕中可能有盲矿前缘叠加。840m 中段 Hg 则为独立存在的一类(急剧降低), 而 AsSb 在此中段向 800m 中段产生增高含量的转折, 使 As、Sb、Cu、Zn、Mo、Bi 在该中段处于同一含量水平。

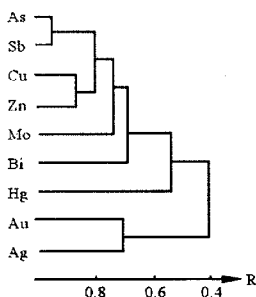


图 5-4 L₄840m 中段指示元素谱系图

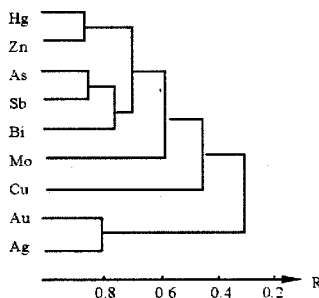


图 5-5 L₄675m 中段指示元素谱系图

第三节 石英滩金矿床原生晕的分带特征

金矿床的组分分带在金矿床的地质勘查、探矿和开掘生产中是极有意义的。原生晕的组分分带实际上是个矢量, 在矿体空间上表现为原生晕组分沿轴向(矿体倾向沿伸线)、横向(矿体上下盘)、纵向(矿体走向)有规律的变化。

在石英滩 L₄ 矿体典型原生晕组合特征研究中, 从指示元素的含量变化中, 已发现

它们在不同中段上的有规律变化的特点,表明该矿床原生晕的组分分带是客观存在的。

原生晕组分分带研究方法的基础是以各指示元素原生晕的规模变化为根据的,也就是说在矿体及其原生晕空间上,指示元素的方向性的变化不只反映在元素含量的变化上,而且反映在指示元素含量和原生晕大小的综合指标上,具体讲就是只有指示元素的线金属量变化,才能真正体现出组分的有规律的变化。

一 L₄矿体原生晕的轴向分带

L₄矿体原生晕的轴向分带研究主要是按该矿体的各中段工程沿横向方向采取岩石地球化学样完成的。在矿体中部(指平面上延伸的中部)由三个中段穿脉坑道(CD64, CD52, CD66)和二一个中段钻孔工程(ZK8004, ZK8006)岩石地球化学连续采样控制,分别代表880m、840m、800m、750m、675m五个中段(高程)。

在矿体东部(SE端)仅有三个穿脉控制的中段:880m (CD66)、840m (CD73)、800m (CD76)。在矿体西部(NW端),也有三个穿脉控制的中段:880m (CD52)、840m (CD56)、800m (CD59)。

(一) L₄矿体中部原生晕轴分带序列的确定

该矿体中部五个中段的指示元素原生晕线金属量见表5-4。

表 5-4 石英滩金矿床 L₄矿体中部各中段指示元素原生晕线金属量 (M%)

元素 中段	880m 中段	840m 中段	800m 中段	750m 中段 ZK8004	675m 中段 ZK8006
Au	0.0004467	0.001892	0.003397	0.002298	0.004177
Ag	0.002059	0.004000	0.004696	0.003156	0.000930
As	0.4099	0.3961	0.6503	0.09738	0.28387
Sb	0.02741	0.03460	0.04850	0.00691	0.01495
Hg	0.000370	0.0006777	0.000226	0.000162	0.000649
Cu	0.01966	0.07426	0.05400	0.01760	0.13200
Zn	0.0547	0.2101	0.2376	0.0653	0.1230
Bi	0.0001111	0.0006150	0.000704	0.0001558	0.0005640
Mo	0.00259	0.01244	0.01380	0.003067	0.0413

表 5-4 中指示元素的线金属量的最大值已初步反映出它们各自聚集的中段部位,但由于数值还未进行标准化,各指示元素线金属量在各中段聚集规模比例还不清楚。对指示元素线金属量进行标准化。结果见表 5-5。

在标准化线金属量值基础上确定指示元素的分带指数,其方法是计算每个指示元素线金属量在各自中段上所占的比例。分带指数计算结果见表 5-6。

由表 5-6 可以看出,As、Hg 最大值聚集在 880m 中段;Zn、Sb 最大值聚集在 800m 中段;Au、Ag 最大聚集在 750m 中段;Cu、Bi、Mo 最大值聚集在 675m 中段。原生晕轴向分带序列初步确定为:由前缘→尾部:AsHg-SbZn-AuAg-CuBiMo。

用衬度值和梯度差分解聚集在同一个中段的若干指示元素,其结果见表 5-7。

L₄ 矿体中部原生晕轴向分带序列为:

前缘→尾部: Hg-As-Sb-Zn-Ag-Au-Bi-Mo-Cu。在金矿床中,这个轴向分带序列是非常典型的, Hg、As、Sb 可称得上为典型的原生晕轴向分带的前缘元素, Bi、Mo 则为其典型尾部元素, Cu 元素大多处于尾部,或略有超前。

表 5-5 石英滩金矿床 L₄ 矿体中部各中段指示元素原生晕线金属量标准化值

元素 中段	880 中段	840 中段	800 中段	750 中段 ZK8004	675 中段 ZK8006	KH
Au	0.04467	0.1892	0.3397	0.2298	0.0418	100
Ag	0.2059	0.4000	0.4696	0.3156	0.0930	100
As	0.4099	0.3961	0.6503	0.0974	0.2838	1
Sb	0.2471	0.3460	0.4850	0.0691	0.1495	10
Hg	0.7301	0.6777	0.2260	0.1620	0.6490	1000
Cu	0.01966	0.07426	0.05400	0.01760	0.13200	1
Zn	0.0547	0.2101	0.2376	0.0653	0.1230	1
Bi	0.1111	0.6150	0.7040	0.1558	0.5640	1000
Mo	0.0259	0.1244	0.1380	0.0307	0.1430	10
Σ	1.84903	3.03276	3.3042	1.1433	2.1791	

表 5-6 石英滩金矿床 L₄ 矿体各中段指示元素原生晕分带指数值

元素	Au	Ag	As	Sb	Hg	Cu	Zn	Bi	Mo
880 中段	0.0421	0.1114	0.2217	0.1336	0.3949	0.0106	0.0296	0.0601	0.0140
840 中段	0.0624	0.1319	0.1306	0.1140	0.2235	0.0245	0.0693	0.2028	0.0410
800 中段	0.1028	0.1421	0.1968	0.1468	0.0684	0.0163	0.0719	0.2131	0.0418
750 中段	0.2010	0.2760	0.0852	0.0604	0.1417	0.0154	0.0571	0.1363	0.0269
675 中段	0.0192	0.0427	0.1302	0.0686	0.2978	0.0606	0.0564	0.2588	0.0656
轴向分带序列 As Hg-Sb Zn-Au Ag-Cu Bi Mo									

表 5-7 石英滩金矿床 L₄ 矿体原生晕轴向分带序列分解表

元素	As	Hg	Sb		Zn		Au	Ag	Cu	Bi	Mo			
梯度 值 (G)	7.13	11.65	G ₁	2.39	G ₁	3.47	13.52	6.51	15.84	8.70	10.29			
			G ₂	4.57	G ₂	2.53	10.47	6.46						
G _总	-2.18		0.932		3.05	0.048								
排列	Hg-As		Sb-Zn			Ag-Au			Bi-Mo-Cu					
原生晕轴向分带序列 前缘→尾部 Hg-As-Sb-Zn-Ag-Au-Bi-Mo-Cu														

(二) L₄ 矿体东部 (SE 端) 原生晕轴向分带序列的确定

L₄ 矿体东部深部工程仅有三个中段, 即 880m 中段 (CD66)、840m 中段 (CD73) 和 800m 中段 (CD76)。通过计算见最后确定的原生晕轴向分带序列为:

前缘→尾部: Hg-As-Sb-Zn-Au-Ag-Cu-Bi-Mo。该序列与矿体中部利用 5 个中段所确定的结果相似, 仅 Au 元素向前移动一个位置, Cu 由尾端向前移动两个位置。序列的前缘与尾部组合未变。

(三) L₄ 矿体西部 (NW 端) 原生晕轴向分带序列的确定

L₄ 矿体西部深部工程也有三个中段, 即 880m 中段 (CD52)、840m 中段 (CD56) 和 800m 中段 (CD59)。通过计算最后确定的原生晕轴向分带序列为:

前缘→尾部: Mo-Hg-As-Sb-Zn-Cu-Au-Ag-Bi。该序列与矿体中、东部原生晕有较大区别, 首先是 Mo 元素处于前缘, Cu 元素处于原生晕序列中部, 推断出现这种反常现象

的原因是与矿体向 SE 侧伏和矿体原生晕纵向分带不对称有关。矿体 SE 端向下侧伏, NW 翘起端原生晕前缘部分受剥蚀, 显示出中下部特征, 而下伏端在同一水平上则多显示前缘特征。由此可以认为矿体西部原生晕轴向分带序列也属正常。

对比三个部位结果, L_4 矿体原生晕的轴向分带序列最后确定仍以中部五个中段的计算结果为准, 即前缘→尾部: Hg-As-Sb-Zn-Ag-Au-Bi-Mo-Cu。将 Hg、As、Sb 确定为前缘组合, Bi、Mo、Cu 为尾部组合。

二 L_4 矿体原生晕的横向分带

横向分带指的是原生晕在沿矿体上下盘方向上(垂直走向)指示元素的有规律的变化。横向分带不同于轴向分带不仅是部位差别, 更重要的是它没有典型分带序列作参照, 而是随矿种、成因类型、深度的变化其分带特征均不相同。

原生晕横向分带序列的确定是在同一个水平中段计算, 其参数涉及到指示元素的背景平均值(C_0)、原生晕的几何平均值、原生晕衬度 K 、原生晕的宽度(L)和原生晕线规模($K \cdot L$)。序列是以原生晕为线规模按大小排列。同一水平中段上处于前列的元素是主成矿元素组合。

L_4 矿体原生晕横向分带计算见表 5-8。

由表 5-8 可以看出: 在 5 个中段上的原生晕指示元素横向分带序列中 Au 均处在第一位; Au、Ag、As、Sb、Hg 无疑是该矿床原生晕的重要组合, 而 Zn、Bi、Cu、Mo 为次要组合。

前缘元素组合在横向分带上的表现是: 在 880m 中段和 840m 中段均具有较大规模, 而 Hg 原生晕在 800m 中段变小, 甚至不如 Zn、Bi 原生晕的规模。而向下部 750-675m 中段, Hg 逐渐移向序列前端, 在 800m 中段 Hg 排在第 7 位, 到 750m 中段移至第 5 位, 到 675m 中段移至第三位。这种典型的前缘元素原生晕强度和规模向深部逐渐增大的趋势往往是深部存在盲矿的指示。

另外, 在 675m 中段, As、Hg、Sb 元素组合整体向前, 而 Ag 元素后移至第 7 位。考虑到该中段原生晕中 AuAg 元素对的相关系数(0.78)较大, 表明 Ag 的后移与金矿化强度相对减弱有关。同时 Bi 元素在此中段前移至第 5 位。说明 675m 中段处于其上部矿体的末端和可能存在盲矿体的前缘位置, 因而造成前缘元素与某些尾部元素同时增量的趋势。

三 L_4 矿体原生晕的纵向分带

纵向分带指的是矿体原生晕沿走向方向的分带, 原生晕沿走向发育和轴向的相同之处都是渗滤作用结果, 往往从成矿中心沿走向方向渗滤沉积, 其序列与轴向比较一致。所以研究纵向分带的重点不是分带序列问题, 而是对称性问题。 L_4 矿体近地表的 880m

中段原生晕的分带比较明显地说明这个问题(表 5-9)。由表 5-9 可以看出, L₄ 矿体 SE

表 5-8 L₄ 矿体原生晕横向分带计算表

中段		Au	Ag	As	Sb	Hg	Cu	Zn	Bi	Mo
880m	K	30.54	16.89	20.69	15.54	9.69	2.43	3.76	3.26	11.38
	L _∞	21	18	28	25	30	12.5	18	14	16.5
	K · L	641.4	304.0	620.6	388.5	290.7	30.38	67.7	45.6	187.7
	序列	Au-As-Sb-Ag-Hg-Mo-Zn-Bi-Cu								
840m	K	33.85	9.89	8.79	7.7	5.26	2.44	3.89	4.29	4.58
	L _∞	80	62.5	67	76	68	47	66	53.5	23
	K · L	2707	618.05	588.8	585.3	357.6	114.5	257.0	229.3	105.4
	序列	Au-Ag-As-Sb-Hg-Zn-Bi-Cu-Mo								
800m	K	49.39	7.92	11.05	9.32	2.46	2.15	3.64	4	5.69
	L _∞	97.5	94	86	85.8	66	42.5	88	67	19.5
	K · L	3926	744.7	951.0	799.8	162.2	91.57	320	268	111
	序列	Au-As-Sb-Ag-Zn-Bi-Hg-Mo-Cu								
750m	K	82.83	17.54	6.35	4.91	4.08	2.6	3.58	3.02	3.03
	L _∞	39	26.5	24	26	22.5	10	23	22	10
	K · L	3231	464.9	152.4	127.7	91.8	26	82.4	66.5	30.3
	序列	Au-Ag-As-Sb-Hg-Zn-Bi-Mo-Cu								
675m	K	10.06	3.93	7.82	5.58	6.55	3.5	3.98	3.86	5.56
	L _∞	64	44	54.8	48	50	48	54	56.5	17
	K · L	644.2	173.1	428.5	267.8	327.5	168	214.9	217.9	111.6
	序列	Au-As-Hg-Sb-Bi-Zn-Ag-Cu-Mo								
Co		7.2	0.072	7.59	0.68	23.4	11	11	0.035	1.51
注:K 为衬度, L-原生晕宽度										

端前缘元素原生晕规模大, 而 NW 端尾部元素原生晕规模大, 表明纵向分带不对称, 十分清楚地显示矿体向 SE 方向倾伏。

表 5-9 石英滩金矿床 L₄ 矿体原生晕纵向分带

中段	元素	SE 部 (M%)	关系	NW 端 (M%)	评 述
880m	As	0.1294	<	0.2412	前缘趋势东强西弱 尾部趋势西强东弱 纵向分带不对称 矿体、原生晕向东侧伏
	Sb	0.01448	>	0.01179	
	Hg	0.0004851	>	0.000392	
	Bi	0.00002327	>	0.000014	
	Mo	0.00375	<	0.00970	
	Cu	0.008658	<	0.013716	

四 石英滩金矿床原生晕轴向分带模式

以石英滩金矿床 L₄ 矿体原生晕轴向分带序列为根据建立原生晕轴向分带模式。

分带评价值是前缘元素线金属量累乘积与尾部元素线金属量值累乘积相比。如果成矿作用为单期次、单阶段则分带评价价值一般由高中段(高程)向低中段单调变小。如果有成矿作用的多次叠加, 或深部有盲矿存在, 有一些分带评价价值的这种单调变化就会被改变。L₄ 矿体原生晕轴向分带评价价值线性模式计算见表 5-10。

由表 5-10 可以看出, 选择的分带评价价值有一阶 v_1 、二阶 v_2 和三阶 v_3 。 v_i 取以 10 为底的对数表示。从 9 个分带评价价值看, v_i 与 H(高程)的相关系数以 0.05 信度为准, 大于 $\gamma(0)0.05=0.878$ 的有: Sb/Cu、As · Sb/Bi · Mo、Sb/Bi 三个分带评价价值, γ 大于 0.8 的还有 As · Sb/Cu² 和 Sb · Hg/Cu · Bi。其余 4 个分带评价价值均不具由上向下单调变小的特点, 即使后选入的两个 2 阶分带评价价值同样是单调变小不够显著, 这些均充分说明 L₄ 矿体原生晕反映出成矿的多期或脉动式热液成矿的叠加。

按表 5-10 的 9 个分带评价价值绘制的原生晕分带评价价值模式见图 5-6。

由图 5-6 可以看出, 各阶分带评价变化中, 在 800m 中段前缘元素规模增量有 4 个, 在 750m 中段增量的有 4 个。分带评价价值在 675m 中段无明显减小的有 7 个, 明显增大的有 1 个, 说明在 675m 中段前缘元素也有增强趋势。分带评价价值提供的信息与上述图 5-3 提供的信息是一致的。

由此建立石英滩金矿床 L₄ 原生晕轴向分带理想模式示意图(图 5-7), 图中显示出矿体中部和尾部有两个前缘元素原生晕的叠加, 中部叠加使矿体变厚变富已成事实, 而尾部出现前缘晕叠加, 则预示深部有盲矿存在的可能。石英滩金矿床的原生晕分带, 是一个典型中小型金矿床原生晕的分带模式。

表 5-10 石英滩金矿床 L₁ 矿体原生晕轴向分带评价值线性模式计算表 (lg v_i)

中段 v _i	880m	840m	800m	750m	675m	T	回归方程
As/Bi	3.57	2.81	2.97	2.80	2.70	0.40	H=554.5+73.6 v ₁
Hg/Mo	-0.55	-1.26	-1.78	-1.28	-1.43	0.55	H=912.9+98.3 v ₁
Sb/Cu	0.14	-0.33	-0.05	-0.41	-0.95	0.90	H=844.5+173.5 v ₂
As · Sb /Bi · Mo	4.59	3.25	3.51	3.15	2.72	0.92	H=480.2+91.6 v ₃
As · Sb · Hg/Cu · Bi · Mo	3.16	1.21	1.13	1.11	0.41	0.36	H=776.1+0.063 v ₃
Sb/Bi	2.39	1.75	1.84	1.64	1.42	0.88	H=488.6+193.8 v
As · Sb/Cu ²	1.46	0.40	1.01	-0.80	-0.61	0.84	H=769.1+68 v ₂
As · Hg/Mo ²	1.65	0.24	-0.11	0.22	-0.05	0.69	H=759.4+76 v ₂
Sb · Hg/Cu · Bi	0.96	-0.28	-0.54	-0.39	-0.88	0.82	H=810+93.1 v ₂

注: v_i 为分带评价值; i 为阶数; 分带评价值为 lg v_i

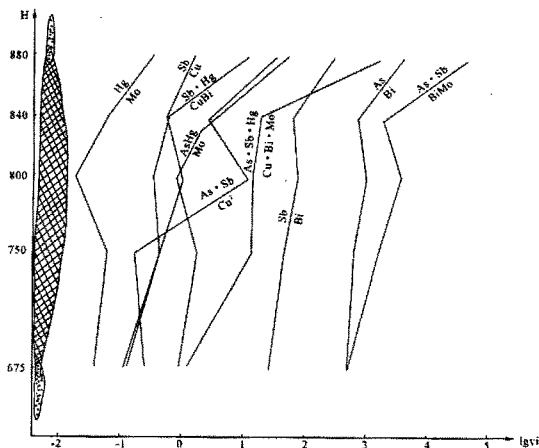


图 5-6 石英滩金矿床原生晕轴向分带评价值模式

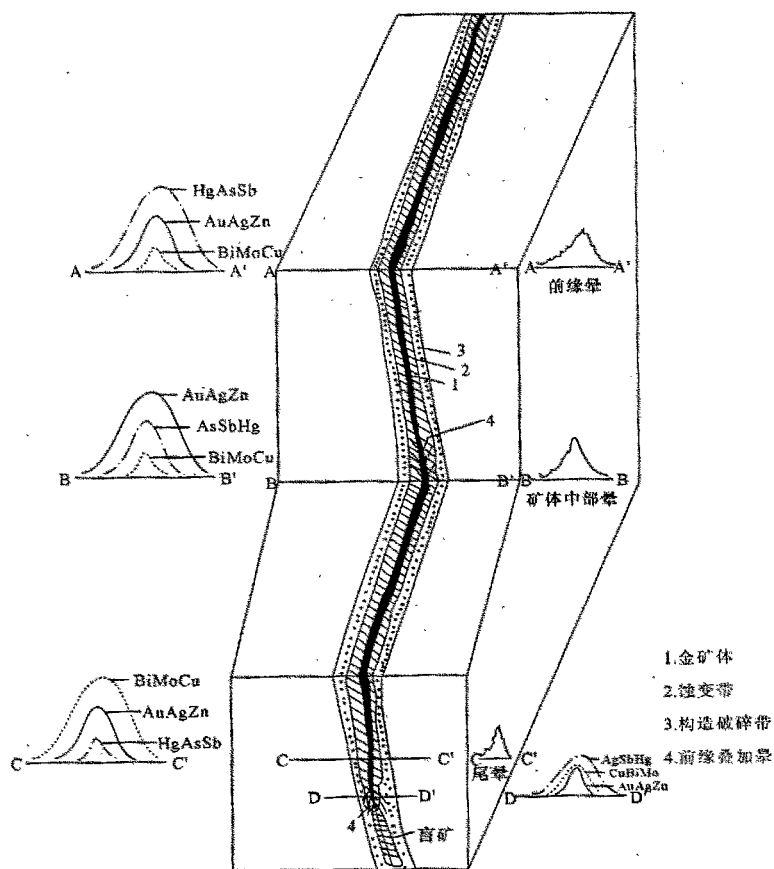


图 5-7 石英滩金矿床 L 原生晕轴向分带模式示意图

第六章 隐伏金矿体定位预测

矿体(床)定位预测实际是根据一定的地质条件,选择一种合适的成矿预测理论,采用一种有效的预测成矿技术方法,对某一成矿远景区或靶区,做出合理的推断,解释和评价。因此定位预测成败的关键在于所选择预测理论的正确性、合理性,以及所采用预测手段、方法的充分性、可行性。

通过对石英滩 L_4 矿体已采中段的研究分析,可知该矿床具典型的轴向分带序列,主成矿段的指示元素分带序列与一般典型序列所差无几。轴向分带在前缘元素类别上与典型矿床完全一致,仅顺序略有差异。中部序列在石英滩为 Zn-Ag-Au,可以说差异很小。矿床原生晕具较典型的叠加晕。在中上部的前缘晕叠加使中下部矿体增厚。下部的前缘晕叠加则预示深部盲矿的存在。根据数据分析建立矿床理想叠加晕模型(图 6-1)。

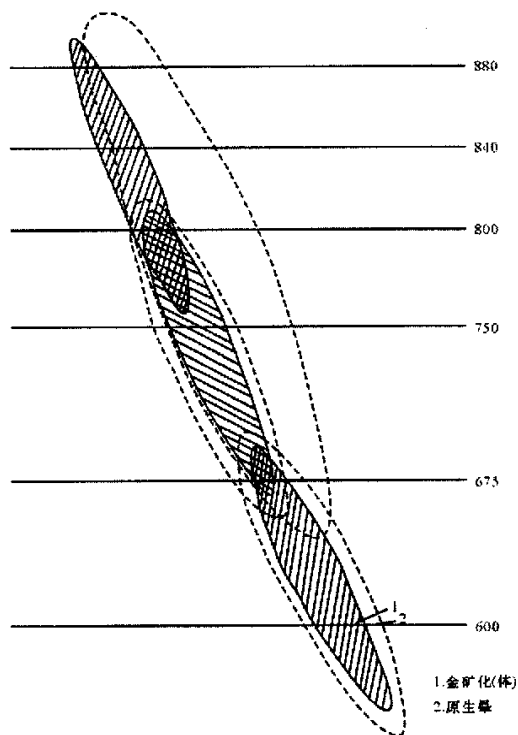


图 6-1 石英滩金矿床原生晕理想叠加模型

野外实际工作发现,预测区一东北脊与石英滩金矿床地质条件,构造条件等方面非常相似,主要表现在以下三点:

1. 地表石英脉具有相似的组构特征—均具有典型的骨架—板条状构造，环状构造，交代溶蚀结构，交代析出结构等。具有相似的物质成分特征—少硫化物。相似的蚀变特征—硅化、碳酸盐化、绿泥石化等。

2. 石英脉赋存环境—围岩是完全同一的，石英脉均赋存于安山岩、蚀变安山岩中，无论安山岩的组构，形成时代都是相同的。

3. 石英脉产出状态是相似的。都是受同一古火山机构附近的放射形裂隙控制，具有良好的成矿条件。

通过以上分析可以得出如下结论：东北乔金异常区与石英滩金矿床具有相似的地质环境。即相似的成矿构造环境、相同的成矿物源。因此，对预测区进行定位预测采用的预测理论为相似类比理论，通过研究隐伏矿体地球化学特征的相近性，确定东北乔金异常区成矿的可能性。

第一节 东北乔异常区地质概况

东北乔金矿化点位于石英滩金矿床东北方向 7km，地理坐标为：东经 $90^{\circ}15'29''$ ，北纬 $42^{\circ}06'20''$ 。

异常区内出露的地层为一套下二叠统阿其克布拉克组第三岩性段 (Pa^3)，岩性以安山岩、蚀变安山岩、英安岩及蚀变英安岩为主。矿区北部有部分石英斑岩、闪长玢岩、花岗斑岩脉出露，异常区南部为石英滩古火山机构外侧岩体，岩性为碎斑熔岩和碎斑流纹斑岩。异常区北西侧为康古尔塔格构造带，岩性为中石炭纪干墩组的糜棱岩化大理岩。

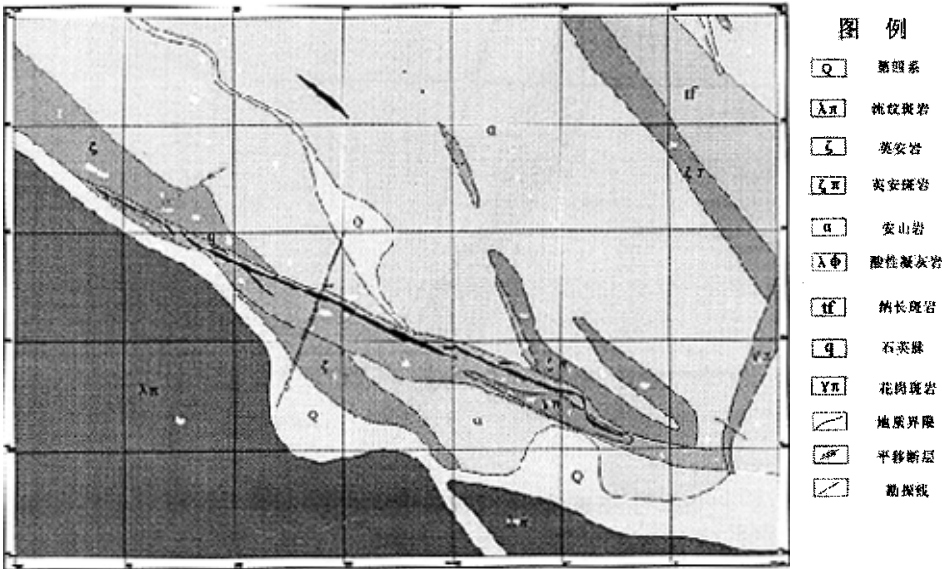


图 6-2 石英滩东北矿平面地质草图

金矿化异常带产于 NW-SE (方向 $110^{\circ} \sim 120^{\circ}$) 的断裂破碎带中, 围岩成分比较单一, 为安山岩、英安岩及蚀变安山岩和杏仁状安山岩。矿化带宽 20-40m。宽度变化稳定, 仅在局部构造交汇部位有膨大变宽的趋势。矿化带长约 1.5km, 沿走向呈断续状延伸。矿化带主要由石英脉、蚀变英安岩和碳质细脉组成。

矿化带中最明显的蚀变标志为褐铁矿化、硅化, 还有少量的绿泥石化、绿帘石化。原岩为安山岩或英安岩。原岩经蚀变后成分难于用肉眼观察识别。

硅化主要发生于石英脉边部和次一级裂隙中。硅化岩石主要成分为 SiO_2 , 其含量一般大于 90%, 颜色呈灰色-灰白色, 岩石硬度极大, 往往未发生破碎。其宽度一般为 10-20cm。

褐铁矿化在矿化带中分布范围较宽, 且不连续, 矿化强度不一。在蚀变带外侧的灰绿色安山岩及英安岩中, 褐铁矿化主要沿岩石破裂面产出, 产状为 $330^{\circ} \sim 350^{\circ} \angle 70^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 。蚀变带内普遍存在褐铁矿化, 且岩石破碎程度越高, 褐铁矿化越强烈, 岩石呈褐色—深褐色。破碎带产状为 $200^{\circ} \sim 230^{\circ} \angle 70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。此外, 在蚀变带中还可见有数条黑色碳质细脉, 脉体宽 1-2cm, 产状 $200^{\circ} \sim 230^{\circ} \angle 80^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 。

石英脉一般位于矿化蚀变带的中部, 是由数条厚度不等的石英脉体组成。脉体厚度 70~80cm, 边部石英小脉厚度 10~30cm。石英脉呈白-灰白色, 因部分发生铁染而呈浅红色。石英脉中含硫化物很少, 只见有少量黄铁矿 (含量小于 5%)。部分岩石中只见有被氧化淋滤后的黄铁矿残余空洞。另外石英表面可见碳质的黑色斑点。石英脉总体产状为 $200^{\circ} \sim 220^{\circ} \angle 60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。

第二节 东北乔地球化学特征

经过野外实地踏勘发现, 异常区内石英脉呈断续状展布, 总体产状 $200^{\circ} \sim 220^{\circ}$ 。因此野外化探剖面采用垂直石英脉走向布置, 剖面线间距 50 或 100m。样品沿剖面线采取。依然采用地表连续检快组合成样。样品点间距 5 或 10m (一般异常带上间距 5m, 到剖面线端点样品间距可适当放宽至 10 或 15m)。野外共采集岩石原生样品 169 个。

一 指示元素地球化学参数与指示元素含量概率分布

由于地球化学采样剖面控制以异常带为主, 向围岩延伸较短, 涉及背景的背景样品较少, 统计的大多指示元素背景母体概率较低, 异常母体叠加较明显, 地球化学参数用图解方法确定。

(一) Au 元素

由图 6-3 以看出, 东北乔 Au 元素含量概率母体最少有 4 个, A 母体和 B 母体叠加较多, 若把 A 作为背景母体, 其参数基本上可以代表该地段的背景参数, 由于 A、B 叠加较多, 在累频分布图进行的母体分解也难以将其彻底分开, 用概率格纸法对其分解 (图

6-4)。发现分解后的母体参数难以代表该地区背景参数。

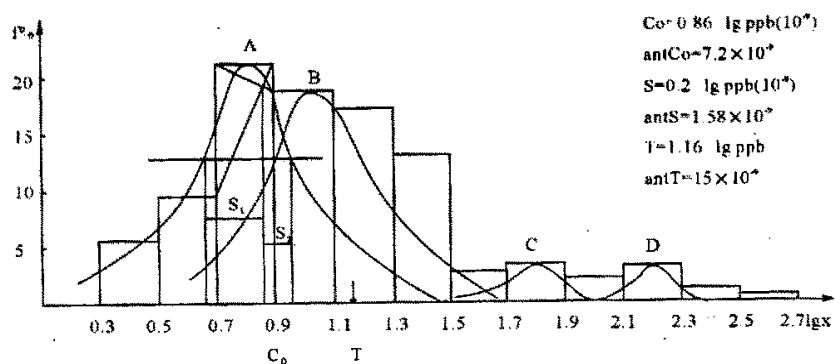


图 6-3 东北齐 Au 元素含量频率直方图

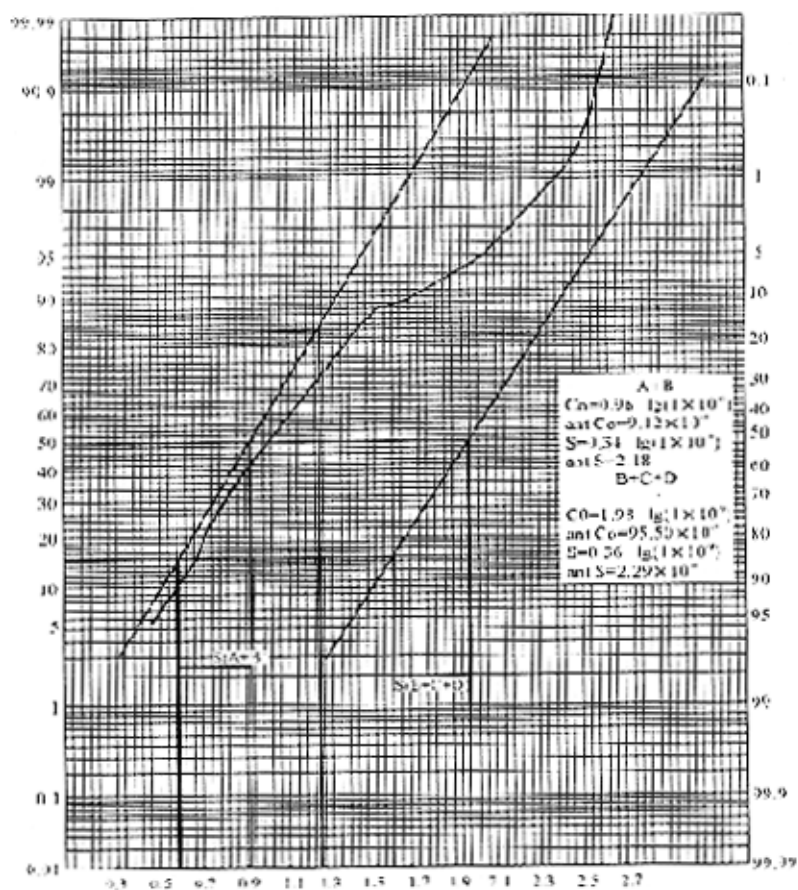


图 6-4 东北齐 Au 元素含量频率分布图 n=169 (大子样=全体)

按直方图解法 Au 的背景几何平均值取 0.73×10^{-9} ，标准差为 1.58×10^{-9} ，异常下限取 15×10^{-9} 。母体 B 大多涉及的仍是背景含量，少量涉及到原生晕外带 Au 含量。母体 C 和 D 反映了 Au 原生晕中内带及部分强异常含量，在 Au 地球化学图上则多为 Au 的浓集中心。

剔除大于 31.63×10^{-9} Au 含量后的累频分布见图 6-5。子样容量由 167 减少到 146，分解后的 A、B 母体，基本区分开背景母体与叠加异常母体。A 参数与直方图取值比背景平均值略小一些，但标准差又略大一些。

64%A+36%B

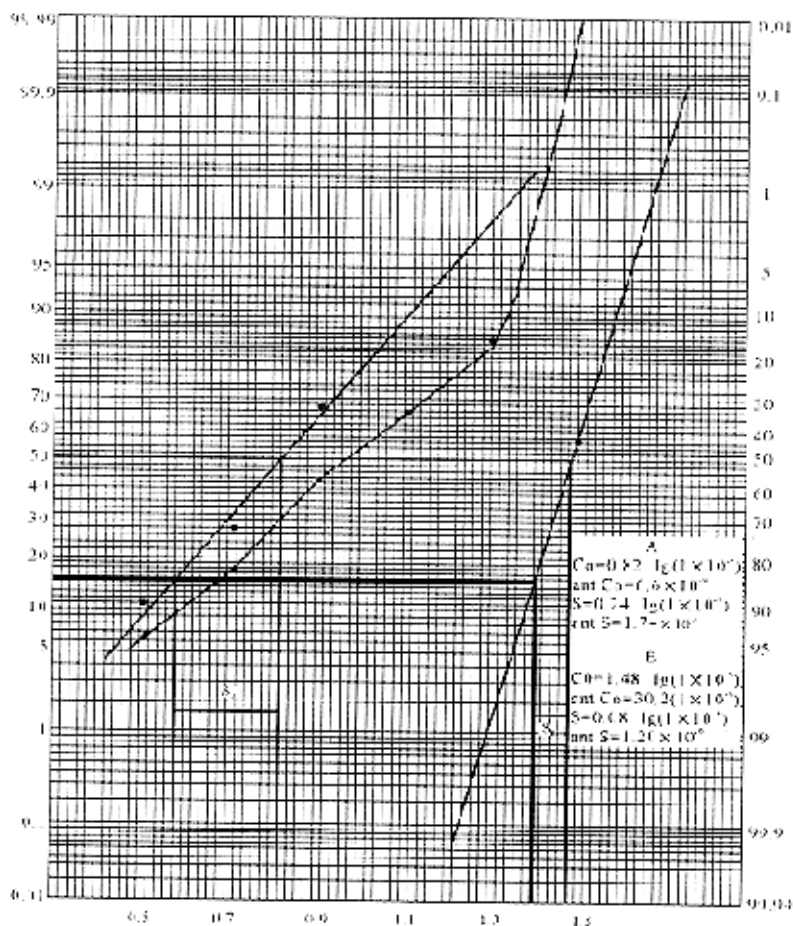


图 6-5 东北砷 Au 元素含量频率分布图 $n=146$

(二) Ag 元素

东北砷 Ag 的概率分布呈双母体。对其直方图和正态概率纸累频图分析，确定 Ag 的背景平均值为 0.063 和 0.072×10^{-6} ，标准差为 1.62 和 1.66×10^{-6} 。Ag 元素的概率分布所提供的地质信息与 Au 元素是相同的。Ag 异常下限取 0.1×10^{-6} 。

(三)As、Sb、Hg

As、Sb、Hg 三个前缘指示元素的含量概率分布在东北乔是比较复杂的，它们显示出的多重母体叠加极明显，含量跨度很大。As、Sb、Hg 的地壳丰度分别为 2.2×10^{-6} 和 89×10^{-6} 。在东北乔最高含量之浓度克拉克值分别达 1532、100 和 7.4，Hg 元素的挥发性和不稳定性决定它在表生带的易变和含量削弱，因而相对 As、Sb 要小一些，但仍然表现出很高的含量。

前缘元素的这种多重概率母体有极大的指示意义，它首先体现了前缘指示元素有极高的浓度和浓度明晰的分带；另一方面它预示着所指示的金矿体有一定的埋藏深度。

(四)Cu、Pb、Zn 元素

Cu、Pb 两个元素在东北乔的样品分析报出结果中大多处于最低分组值中(1×10^{-6})。尤其 Pb 元素起伏更小，没有指示意义，这个特点与石英滩金矿床原生晕是相同的。

Zn 元素与 Cu 特点类似，在矿带上含量很低，而高含量大多处在矿带两盘的安山岩或蚀变安山岩之中。Cu、Pb、Zn 在该矿带呈亏损状态。

(五)Bi、Mo 元素

在矿带上，Bi 含量几乎全部呈背景分布，相对于矿带两盘的 Bi 的正异常，在矿带上 Bi 也可称为负异常。

Bi 的这种含量变化显然与含金石英脉的剥蚀面水平有关。作为尾部元素，Bi 含量的负异常意味着金矿体有较大的埋藏深度。随着深度的增加，Bi 含量的概率分布形式会发生改变的。Mo 元素含量变化较复杂，在矿带上大部分含 Mo 呈背景，仅矿带西部因较多的花岗质脉岩的干扰使 Mo 出现较高的含量，似乎与成矿作用关系不大。

东北乔地球化学样品涉及围岩背景部分较少，挑选 12 个分布于安山岩的地化样品对指示元素进行地化参数统计，统计结果见表 6-1。在表 6-1 中同时将上述背景统计结果一并列入。

表 6-1 东北乔金矿点指示元素背景参数

	元素 参数	Au	Ag	As	Sb	Hg	Cu	Zn	Bi	Mo
矿带 背景 区	X	7.2	0.072	8.31	0.68	23.4	11.8	11	0.04	1.51
	S	1.74	1.66	1.78	1.5	1.64	3.19	7	0.02	1.55
	V	0.29	-0.19	0.28	-1.05	0.16	0.27	0.64	0.57	1.06
	T	15	0.1	15	1.5	35	20	20	0.08	3.50
围 岩	X	6.41	0.082	7.13	2.00	21.3	30.7	41.5	0.08	1.34
	S	1.85	1.69	2.24	1.95	1.98	3.09	1.81	1.64	1.40
	V	0.33	-0.20	0.40	0.96	0.22	0.33	0.16	-0.2	1.14

注：Au、Hg 为 1×10^{-6} ，其余为 1×10^{-5} ；T-异常下限；矿带 Cu、Zn、Bi 为算术平均，其余为几何平均。

由表 6-1 可以看出,在异常带的围岩中,Cu、Zn、Bi 明显高于石英脉带,与矿带出现 Cu、Zn、Bi 的负异常有关。事实上,由于地化剖面较短,这几个指示元素在安山岩中的含量变化仍然与成矿作用有关,这里所提及的围岩仍属近矿围岩。

二 东北乔原生地球化学异常

通过以上分析可知,东北乔金异常点的原生地球化学异常总的特点是前缘元素 As、Sb、Hg 有很大的异常规模,异常强度很高,连续性好,有浓集中心和完整的浓度分带,Au、Ag 显示出中等强度和规模的原生异常;Zn、Bi、Cu 在异常带呈低背景分布,正异常分布在带两侧,显示出尾部元素(Bi、Cu)低强度且连续的特点;Mo 异常仅发育在主带西部,东部基本无异常。在西部的 Mo 异常,不完全反映尾部特点,主要由于酸性脉岩的同化作用引起部分地段 Mo 的含量增高,从成矿作用看,Mo 含量仍是弱异常或背景趋势。

东北乔的上述异常特征表明主矿带处于很浅的剥蚀水平,金矿化仅表露出前缘特征,有存在金的盲矿的明显趋势。

(一) Au 异常

Au 异常的具体展布和数据特征见表 6-2。主带共有 5 个 Au 异常。 Au_3 为主体 Au 异常,分布在 10 线-24 线,长 750m 宽 15-60m,面积 $24070m^2$,Au 的几何平均在 5 个 Au 异常中也是最高的,为 55.42×10^{-9} ,标准差也最大,为 2.48×10^{-9} ,具明显的浓集中心和浓度分带。

异常圈定由于受下限控制,使 Au 异常中 Au 含量不均匀往往形成被割裂的单个异常,实际上从平面展布来看, Au_1 、 Au_2 、 Au_3 、 Au_4 可作为一个整体,仅 Au_5 可能与 Au_3 呈斜列状展布。将前 4 个异常作为一个整体,面积为 $28890m^2$,Au 含量用 4 个异常面积加权平均为 50.90×10^{-9} 。

Au_5 在主矿带东端,长 360m,面积 $8640m^2$,Au 几何平均 38.08×10^{-9} ,标准差 2.18×10^{-9} 。强度相对较弱。

(二) Ag 异常

在主带有 5 个 Ag 异常。具有一定规模的是 Ag_3 ,位于 15 线-28 线,长 720m,宽 10-80m,面积 $28800m^2$,Ag 几何平均 0.22×10^{-6} ,标准差 1.97×10^{-6} 。Ag 的异常宽度较大的地段主要在东部 19 线-24 线,最宽 80m,Ag 最高含量 5.4g/t,有浓度分带。而 Au 的异常宽度较大地段在西部 10-15 线。

其余几个 Ag 异常规模比较小, Ag_1 、 Ag_2 在西端(9-15 线),面积分别为 $2920m^2$ 和 $840m^2$,Ag 几何平均分别为 0.441 和 0.12×10^{-6} ,标准差分别为 3.31 和 1.24×10^{-6} 。 Ag_4 、 Ag_5 在东端 28 线-32 线,面积分别为 $3000m^2$ 和 $700m^2$,几何平均值分别为 0.16 和 0.14×10^{-6} ,标准差分别为 1.26 和 1.11×10^{-6} 。

(三) As、Sb、Hg 异常

三个前缘元素在主矿带的异常规模和强度最大,浓度分带齐全而清晰,衬度也很大。

表 6-2 东北乔原生金异常特征数据一览表

矿带	主矿带					北西带			
异常编号	Au ₁	Au ₂	Au ₃	Au ₄	Au ₅	Au ₇	Au ₈	Au ₉	Au ₁₀
位置	7 线	6-9	10-24	15 线	23-30	主带 N	主带 N	主带 N	主带 N
展布方向	NWW	NWW	NWW	NWW	NWW	NW	NW	NW	NW
长(m)	100	160	750	80	360	210	230	540	440
宽(m)	10-20	10	15-60	10-20	10-30	20-56	20-40	10-34	10-40
面积(m ²)	1500	1600	24670	1120	8640	7980	8000	11880	13200
X(1×10 ⁻⁹)	20.05	27.16	55.42	26.5	38.08	50.63	104.0	28.44	30.31
S(1×10 ⁻⁹)	1.42	1.14	2.46	1.95	2.18	1.64	2.48	2.55	1.75
最大值	23.8	32	408	101	120	166	408	159	61
最小值	12.2	23.7	16.5	18	15	31	31	7.3	12
异常个数	2	3	35	4	12	9	7	6	9

As₁、Hg₁、Sb₁三个前缘元素原生异常，包容了 Au₁、Au₂、Au₃、Au₄4 个异常。这三个元素的异常发育程度是一致的，构成了东北乔含金石英脉主带的最突出的特征。As₁ 异常长近 1000m，面积达 42140m，远远超过其范围 Au、Ag 异常面积。As₁ 的 As 含量几何平均值 308.1×10^{-6} ，标准差 3.12，浓度克拉克值达 140，最高 As 含量为 3371×10^{-6} ，单点浓度克拉克值为 1532.3，衬度达 20.5。

Sb₁ 长 800m，平均宽 60m 面积 48000m²，面积比 As₁ 还大 5860m²，Sb 含量几何平均 8.31×10^{-6} ，标准差 2.36×10^{-6} ，浓度克拉克值为 13.85×10^{-6} ，浓度分带齐全。Sb 含量最大值 40.1×10^{-6} ，单点浓度克拉克值达 66.8，异常衬度 5.54。

Hg₁ 长约 1000m，平均宽约 40m，面积 40000m²，与 As₁、Sb₁ 相近，规模也是相当大的。Hg 含量几何平均值 103.4×10^{-9} ，标准差 2.07×10^{-9} ，最高含量 363×10^{-9} 。尽管 Hg 在表生带极不稳定，挥发性很强，但 Hg 原生异常仍然具有较大规模和较高的强度。异常衬度 2.95。

(四)Bi、Cu、Zn 异常

Bi 元素在主矿带呈连续的负异常，而大于异常下限 (0.08×10^{-6}) 的 Bi 含量所体现的低缓正异常，沿矿带上下盘分布。并与矿带同方向延伸，长达 1200m，负异常含 Bi $0.03-0.07 \times 10^{-6}$ ，正异常 Bi 平均 12.35，标准差 2.06×10^{-6} 。

Cu、Zn 元素有和 Bi 相似之特点，在主矿带均呈背景，而正异常出现在上下盘。Cu 的正异常也较低缓，含 Cu $15-28 \times 10^{-6}$ ，Zn 异常含 Zn $20-78 \times 10^{-6}$ 之间。

(五) Mo 异常

Mo 元素在矿带西部形成一个中等强度的异常(Mo_i), 长 600m, 宽 30m, 面积 18000m²。10 线含 Mo 最高, 大于 20×10^{-6} 的 Mo 含量连续 5 个样品。

在矿带西部局部的高 Bi、Mo 含量与成矿作用关系不大, 有可能与该地段较发育的酸性岩岩脉(岩浆)的同化作用有关。

上述指示元素原生异常的特点在主带北部的 NW 石英脉带上的特点相同。

三 东北乔主矿带 Au₃ 异常的组合特征及隐伏矿预测

在东北乔含金矿英脉近 NWW 向主矿带上, Au₃ 异常是最有代表性、具有成矿意义的 Au 异常。

(一) Au₃ 原生异常(原生晕)指示元素的共生关系

异常内指示元素地球化学参数见表 6-3。

表 6-3 东北乔 Au₃ 原生晕指示元素参数 n=25

元素 参数	Au	Ag	As	Sb	Hg	Cu	Zn	Bi	Mo
X 几何	53.70	0.12	501	8.13	77.62	13.8	22.91	0.06	6.46
S	2.82	2.75	3.02	2.40	3.02	1.41	2.24	4.25	3.24
V	0.26	-0.47	0.18	0.42	0.26	0.13	0.26	-0.23	0.63

注: Au、Hg 为 (1×10^{-6}), 其余 (1×10^{-5})

除 Bi 和 Cu 外, 其余指示元素均呈异常显示。指示元素的相关关系见表 6-4。

由表 6-4 所列指示元素相关、偏相关矩阵可以看出, 与 Au 相关系数大于临界值的仅为 As、Sb、Hg 三个前缘元素, 但在偏相关系数中这三个系数均下降到 0.2 以下, 表明 Au 与 As、Sb、Hg 的关系并不稳定, 也就是说在变化中 Au 并不是完全随着 AsSbHg 的增加而增加, 在深度变化时会出现减小的现象, 这是前缘元素与 Au 的常见关系, 在成矿条件好的地段, 随深度向下增加, 在一定水平上, 它们的关系将是负相关的。

Au 和 Cu、Bi、Zn 相关系数较小, 且为负相关, 尽管在矿化前缘, Au 仍然表现出一定的强度。在矩阵中, 大于临界值的相关系数大多是前缘元素之间的共生关系表现。

在 Au₃ 异常中选择 10、14 两条地化剖面, 研究 Au、As、Sb、Hg 的含量变化(图 6-6、6-7)。在两个剖面上, 呈现出的基本规律是 Au 含量增高与 As、Sb、Hg 呈同步增长关系, 但也有局部的不协调, 如 10 线的 Au 与 As、Sb、Hg 的相关矩阵(表 6-5)中, Au 与 As、Sb、Hg 之相关系数均大于临界值, 但偏相关矩阵中将此种关系的复杂性表现出来(表 6-6)。

表 6-4 东北乔 Au₃ 原生晕指示元素相关、偏相关矩阵

元素	Au	Ag	As	Sb	Hg	Cu	Zn	Bi	Mo
Au	1	0.27	0.65	0.62	0.64	-0.17	-0.26	-0.04	0.26
Ag	-0.09	1	0.46	0.37	0.50	0.35	-0.09	0.09	0.53
As	0.15	0.13	1	0.80	0.71	-0.06	-0.21	-0.03	0.48
Sb	0.19	-0.14	0.56	1	0.61	0.08	-0.06	0.13	0.47
Hg	0.20	0.35	0.20	0.12	1	-0.21	-0.41	-0.16	0.25
Cu	-0.14	0.46	-0.23	0.16	-0.26	1	0.71	0.75	0.62
Zn	-0.19	-0.22	0.03	-0.05	-0.32	0.02	1	0.89	0.45
Bi	0.21	-0.04	-0.09	0.08	0.31	0.35	0.80	1	0.55
Mo	0.08	0.24	0.37	0.00	0.03	0.34	0.25	-0.06	1

注：矩阵上三角：相关系数；下三角：偏相关系数 $n=25$ $r^{(0)}_{\alpha}=0.396$

表 6-5 10 线 Au As、Sb、Hg 的相关矩阵

元素	Au	As	Sb	Hg
Au	1	0.735	0.846	0.717
As	0.735	1	0.958	0.883
Sb	0.846	0.958	1	0.862
Hg	0.717	0.883	0.862	1

表 6-6 10 线 Au As、Sb、Hg 的偏相关矩阵

元素	Au	As	Sb	Hg
Au	1	-0.518	0.726	0.209
As	-0.518	1	0.863	0.427
Sb	0.726	0.863	1	0.054
Hg	0.209	0.427	0.054	1

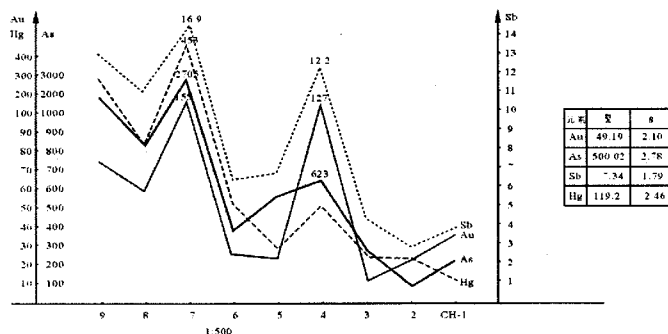


图 6-6 东北乔 10 线 AuAsSbHg 含量曲线图

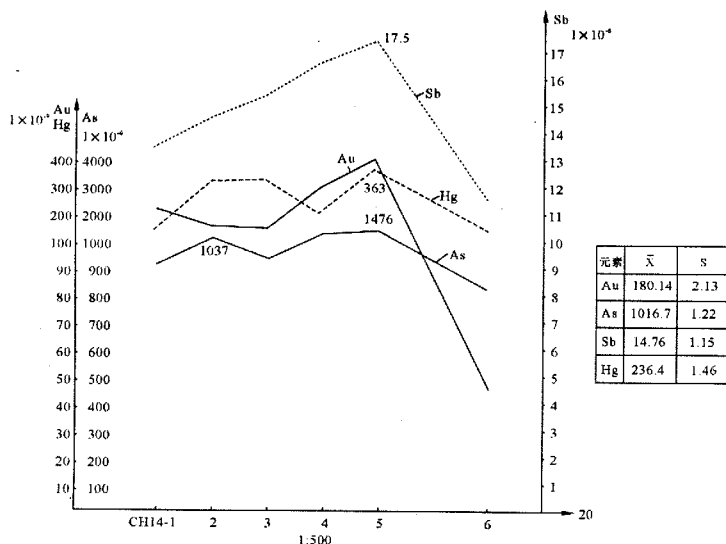


图 6-7 东北乔 14 线 AuAsSbHg 含量曲线图

(二) 隐伏矿体预测

从上述分析可以得出结论： Au_3 异常为一个有找矿意义的矿致异常。从含金石英脉展布情况看，其有望地段控制在 9-19 线之间，在此段地表出露两条含金石英脉，断续延伸约 500m，9-12 线控制的含金石英脉长约 200m，最有代表性的剖面为 10 线剖面。14 线-19 线长约 280m，有代表性的剖面为 14 线和 15 线。前缘元素组合呈强异常，Au 呈中等强度异常，尾部元素 (Cu、Bi、Mo) 呈弱或负异常表明该段含金石英脉深部可能存在金的盲矿体。

与石英滩金矿床类比， Au_3 异常的组合特征—前缘组合，尾部组合与石英滩金矿床原生晕是相同的，各指示元素含量变化规律也极为相似。 Au_3 异常 Au 几何平均值为 53.7×10^{-9} ，与石英滩金矿床原生晕相比，Au 含量差一个数量级。石英滩 L_4 矿体 880m 中段，CD64 控制的 Au 原生晕 Au 几何平均值 219.9×10^{-9} 。因此预测东北乔含金石英脉的现代剥蚀水平大约相当于石英滩金矿床 L_4 矿体的 920m 水平 (图 6-8)。

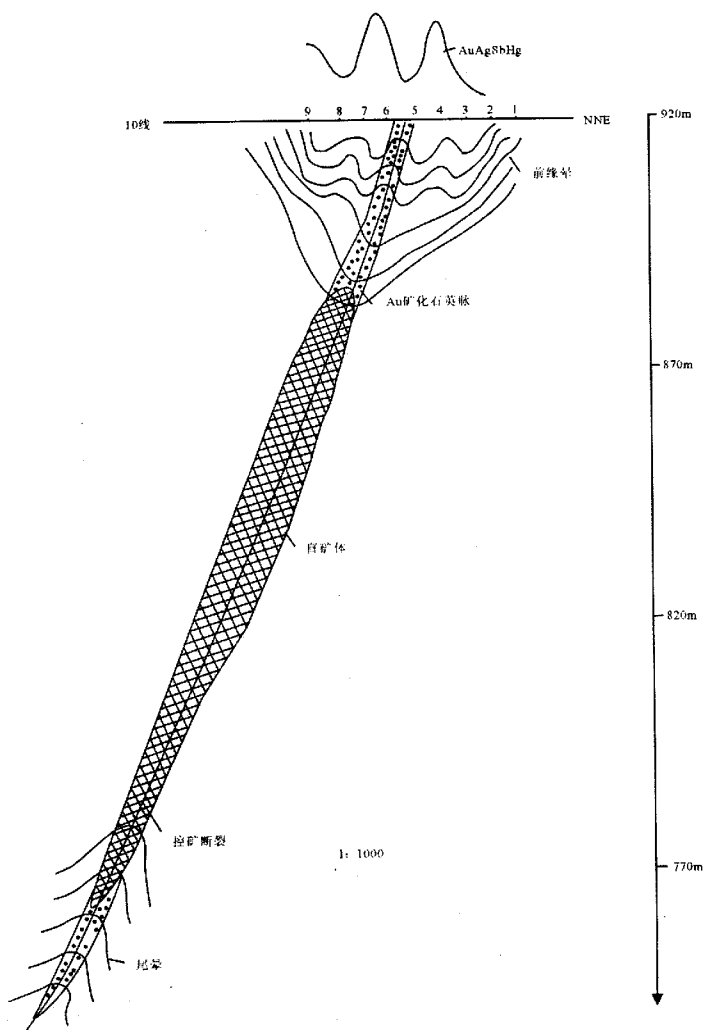


图 6-8 东北亦金矿盲矿体理想剖面

研究结论及意义

通过对东天山西段典型金矿床—石英滩金矿地质特征、构造控矿特征、地球化学特征的研究。本文主要取得了如下几点认识和结论。

1. 该矿床的矿物组合为玉髓—方解石—银金矿—自然金和石英—黄铁矿—绢云母—自然金两种基本矿物组合。为典型的低温矿物组合。矿床类型为浅成低温热液型矿床。

2. 矿床成矿主要受火山—岩浆作用的控制，火山活动和岩浆作用不仅为矿床形成提供了成矿物质源，而且还为成矿创造了良好的空间。

3. 矿床、矿体主要受火山机构放射状和环状断裂系控制，该火山机构断裂系统不仅为成矿物质运移提供了通道，而且为矿质沉淀提供了有利的场所，在某些部位直接成矿。

4. 从原生晕组合特征来看，该矿床 Au、Ag 两元素呈稳定密切共生，其相关关系较大，对预测有一定的参考价值。

5. 矿床原生晕轴向分带特征很典型，即前缘—尾部：Hg-As-Sb-Zn-Ag-Au-Bi-Mo-Cu。这与国内典型大中型金矿原生晕分带序列是一致的。

6. 通过对矿体横向分带的研究发现，Au、Ag、As、Sb、Hg 是矿床原生晕的重要组合，前缘元素由浅到深强度和规模由减小转向增加的趋势，预示着深部有隐伏盲矿的存在。

7. 采用相似类方法，对矿区外围异常区做出合理的分析与评价，并确定了其矿体存在的可能位置及深度。

参 考 文 献

- 1 张均. 矿体定位预测的研究现状与趋向. 地球科学进展, 1997, 6.
- 2 National Research Council. Solid-earth Sciences and Society. National Academy Press, 1993. 6.
- 3 Hedenquist JW, Kerrich R, Gwaw D, et al, Geology geochemistry and origion of high sulfidization Cu-Au mineralization in the Nansatsu district. Japen Econ Geol, 1994.
- 4 Iawrence S R, Parnell J, Groves D I, et al. Geofluids' 23, Contributions to an international conference on fluid evoloution migration and interaction in rocks. J struct Geol, 1993.
- 5 Baker, Localization of sulfides by a hornblende-biotitw alteration system at the Elois Cu-Au deposit, Cloncurry District. NW Queensland, Val D' or, May, 1994.
- 6 张均. 隐伏矿体定位预测方法—以脉状金矿为例. 地质出版社, 1999.
- 7 胡家杰. 金矿控矿构造. 中国地质大学出版社, 1989.
- 8 杨兴科, 陈强, 张连昌. 脆-韧性变形转换与动力成矿过程分析. 地球学报, 1999, 9.
- 9 杨兴科, 姬金生, 陈强. 东天山区域韧性剪切带特征. 新疆地质. 1999.
- 10 沈远超, 曾庆栋, 刘铁兵, 李光明等. 隐伏矿体定位预测. 地质与勘探, 2001.
- 11 沈远超, 肖增岳, 丁奎首等. 火山岩型金矿的构造控矿作用. 国际金矿地质与勘探学术会议 ISGGE. 东北工学院出版社, 1989.
- 12 吴其斌. 金矿勘查中的某些新方法. 金矿物探, 1991, 1.
- 13 张文斌. 航空放射性测量的工作方法与地质效果. 勘察地球物理勘察地球化学文集(4) 北京. 地质出版社, 1986.
- 14 曾庆栋, 沈远超, 张启锐等. 伽玛能谱测量与隐伏金矿体预测. 黄金, 1999b.
- 15 孙胜龙. 预测与寻找隐伏金矿体的几种方法介绍. 黄金科学技术, 1994, 2.
- 16 沈远超, 刘铁兵, 曾庆栋. 中国金矿床成矿预测的理论与方法. 科学出版社, 2001.
- 17 候嘉丽, 杨密云. 用铀作探途元素寻找金矿[J]. 有色金属矿产与勘查, 1995, 4 (4)
- 18 曾庆栋, 沈远超, 杨金中等. 山东乳山金矿铀地球化学特征研究[J]. 黄金科学技术, 1998, 6.
- 19 张均. 隐伏矿体定位预测方法—以脉状金矿为例. 地质出版社, 1999, 10.
- 20 赵鹏大, 陈永清. 地质异常矿体定位的基本途径[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 1998.
- 21 姬金生, 陶洪祥, 曾章仁等. 东天山康古尔塔格金矿带地质与找矿. 地质出版社,

- 1994, 10.
- 22 沈远超, 陈友明. 我国火山岩型金矿床的成矿规律及找矿方向. 黄金科技动态, 1989.
- 23 曾庆栋, 沈远超, 刘铁兵. 山东临沂西部地区次火山杂岩与金矿成矿系列. 地质论评, 1999.
- 24 马启波等. 中国热液金矿床含金建造及成矿作用与找矿方向. 地质出版社, 1994.
- 25 张吉宽. 脉状热液金矿垂向分带及深部预测—垂向分带机理及深部预测. 黄金地质, 2000.
- 26 李惠, 张文华, 刘宝林, 常凤池. 金矿床轴向地球化学参数叠加结构的理想模式及应用准则. 地质与勘探, 1999, 6.
- 27 李惠. 甘肃李坝金矿床定位预测的叠加晕模式. 黄金地质, 2000, 12.
- 28 胡以铿. 地球化学中的多元分析. 中国地质大学出版社, 1991.
- 29 陶正章. 地球化学找矿. 地质出版社, 1981, 7.

致 谢

本人在研究生 3 年的学习生活过程中得到了研究生部张骏主任、刘社华老师、李春莹老师等各位老师的大力支持和帮助。在此表示由衷的感谢。

在专业学习过程中，魏刚锋教授、刘建朝教授、魏宽义教授等多位老师、教授都给予我很大的指导。在此表示深深的敬意和感谢。

尤其要感谢的是我的指导老师杨兴科教授。他对工作一丝不苟的精神和认真的态度永远是我学习的榜样。在论文编写过程中，他提出了很多建议给了我很大的启发。正是他这种严谨的治学态度和渊博的知识，使我不断克服困难，在学术水平上有了较大的提高，并受益于终身。另外野外工作中孙继东老师、李威老师、刘吉庆老师也提出了很多有宜的建议，在此表示感谢。特别需要指出的是孙继东老师对论文地球化学部分的指导和帮助，其中部分地化统计资料是摘引了孙继东老师的分析资料，在此表示由衷的感谢。

野外工作中得到了研究生韦政权，马立成，陈文龙，晁惠霞和新疆地矿局第一地质大队王磊总工、二分队王世新高工、张建滇工程师以及石英滩金矿韦树万高工、方伟矿长、陈升矿长的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。